

626

op-91



1954

020
10-21

10-21

10
1

10

16.809

ИЗДАНИЕ ПРАВЛЕНИЯ ОБЩЕСТВА РЯЗАНСКО-УРАЛЬСКОЙ ЖЕЛ. ДОР.

ТОМЪ II.

У 626
Ф-91

Инженеръ А. М. ФРОЛОВЪ.

проверено
1966 г.

1954 ✓
О ПЕРЕХОДАХЪ
ЧЕРЕЗЪ ВОДОТОКИ.

Фр Результаты наблюдений водъ на переходѣ
Астраханской ж. д. черезъ Волжскую дельту.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
1912.

213

Типографія Морского Министерства, въ Главномъ Адмиралтействѣ.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

Т о м ъ II.

Часть пятая.

Выводы изъ результатовъ наблюдений въ отношеніи пропуска водъ
черезъ отверстія.

ГЛАВА IX.

О водопропускной работѣ отверстій и явленіяхъ ее сопровождающихъ.

Стр.

Явленіе водныхъ воронокъ и бугровъ	1
Описаніе наблюденныхъ водныхъ воронокъ и бугровъ.	2
Понятіе полного подпора и перепада.	14
Необходимость изученія водныхъ воронокъ и бугровъ.	16

A. Случай прохода водъ черезъ одиночное отверстіе.

Изученіе главныхъ элементовъ воронки и бугра: добавочнаго уклона, полного подпора и протяженія.	17
Водопропускная способность отверстія.	25
Полный перепадъ. Глубина воронки и высота бугра . . .	27
Необходимость дальнѣйшихъ непосредственныхъ наблюдений для обращенія обнаруженныхъ зависимостей въ явныя функціи	28
Объ опредѣленіи размѣровъ подтопа прибрежной мѣстности.	29
Вліяніе расположенія отверстія на его водопропускную способность. Значеніе формы воронки и бугра.	32
Заключеніе	36

B. Случай прохода водъ черезъ группу отверстій поставленныхъ на одномъ водномъ пространствѣ.

Взаимная зависимость отверстій группы. Вліяніе измѣненія водопропускной способности одного или нѣсколькихъ отвер- стій группы.	45
--	----

	Стр
Общая подпорная поверхность; общій подпоръ и частные подпоры; частные воронки и бугры. Различный характер водопропускной работы отверстій группы	50
Уровень воды въ групповыхъ отверстіяхъ	53
Распредѣленіе общаго расхода потока между групповыми отверстіями	54
Объ опредѣленіи общаго и частныхъ подпоровъ	57
Водораспредѣлительныя линіи между воронками и буграми второго порядка. Сліяніе воронокъ и бугровъ между собою и объединеніе ихъ общей воронкой и общимъ бугромъ. Горизонты водораздѣловъ между воронками и ложбинъ между буграми	59
Вліяніе расположенія групповыхъ отверстій на ихъ водопропускную способность. Выгоды замѣны одиночнаго отверстия группою отверстій	66
<i>Заключеніе</i>	72
Объ организаціи дальнѣйшихъ непосредственныхъ наблюденій на существующихъ переходахъ черезъ водотоки	79
<i>Заключеніе</i>	83

ГЛАВА X.

О назначеніи отверстій и обезпеченіи устойчивости сооружений.

Назначеніе одиночныхъ отверстій	85
Назначеніе групповыхъ отверстій	86
<i>Заключеніе</i>	96
О назначеніи отверстій каменныхъ трубъ	102
<i>Заключеніе</i>	118
Разборъ конкретныхъ случаевъ переходовъ черезъ водотоки . .	121
Случаи на р.р. Припяти и Бугѣ	121
Случай на р. Иманѣ Уссурийской жел. дор.	124
Случай на р. Днѣпрѣ у г. Кіева	125
<i>Заключеніе</i>	134

ГЛАВА XI.

О протеканіи водъ въ мостовыхъ руслахъ и о работѣ струенаправляющихъ дамбъ.

Проектъ струенаправляющихъ дамбъ на дельтовомъ участкѣ . .	137
Конуса при устояхъ	139

	Стр.
Результаты наблюденій дѣйствія струенаправляющихъ дамбъ и протеканія водъ въ мостовыхъ руслахъ. Выработка раціональной формы струенаправляющихъ дамбъ.	140
Форма верховыхъ дамбъ	140
Прямолинейный участокъ дамбъ	147
Полная длина верховыхъ дамбъ	151
Низовыя дамбы	153
Умѣстность струенаправляющихъ дамбъ при малыхъ отверстіяхъ . .	157
Поперечное сѣченіе дамбъ	159
Наблюденныя неправильности прохода водъ въ мостовыхъ руслахъ и выясненіе ихъ причинъ	160
Измѣненія струенаправляющихъ дамбъ на дельтѣ, назначенныя на основаніи наблюденія водъ. Размывъ на ер. Гнилушѣ . . .	168
О протяженности и типахъ укрѣпленія струенаправляющихъ дамбъ и мостоваго русла между дамбами	173
<i>Заключеніе</i>	175

ГЛАВА XII.

О разности горизонтовъ по обѣ стороны отверстій въ мостовыхъ руслахъ и о тиховодныхъ перепадахъ.

О вліяніи мостовыхъ опоръ на протеканіе водъ въ отверстіи.

Результаты наблюденій разности горизонтовъ водъ непосредственно выше и ниже отверстій и въ самыхъ отверстіяхъ. О неправильности обычно примѣняемой формулы подпора.	182
Вліяніе мостовыхъ опоръ на форму водной поверхности въ мостовомъ руслѣ и на протеканіе водъ въ отверстіи.	194
О затруднительности и малой пользѣ наблюденій разности горизонтовъ въ мостовыхъ руслахъ вблизи отверстій и въ самыхъ отверстіяхъ	196
Тиховодные перепады. Удобство наблюденій тиховодныхъ перепадовъ, и ихъ значеніе для опредѣленія водопропускной работы отверстій.	196
Изученіе наблюденныхъ тиховодныхъ перепадовъ	200
<i>Заключеніе</i>	206

Часть шестая.

Выводы изъ результатовъ наблюдений въ отношеніи водопропускной работы отверстій на дельтѣ.

ГЛАВА XIII.

Дальнѣйшее изученіе результатовъ наблюдений въ отношеніи отверстій дельтоваго участка, и выясненіе его состоянія при наивысшемъ горизонтѣ водъ.

	Стр.
Выясненіе вида функціи $h_t = f(w)$ для дельтовыхъ отверстій . . .	211
Опредѣленіе бытовыхъ расходовъ водотоковъ въ предѣлахъ перекры- тыхъ отверстіями.	212
Вычисленіе квадратичнаго приращенія w скорости въ отверстіи про- тивъ бытовой скорости	218
Выясненіе зависимости между приращеніями скоростей w и тиховод- ными перепадами h_t	226
Выясненіе водопропускной работы дельтовыхъ отверстій при наивысшемъ подъемѣ водъ.	227
Опредѣленіе площадей живыхъ сѣченій мостовыхъ руселъ при наивысшемъ подъемѣ водъ.	227
Опредѣленіе бытовыхъ скоростей при горизонтѣ с. в. водъ въ предѣлахъ мостовыхъ руселъ	230
Опредѣленіе тиховодныхъ перепадовъ $max. h_t$ для гориз. с. в. водъ.	231
Вычисленіе скоростей и расходовъ, ожидаемыхъ при горизонтѣ с. в. водъ въ мостовыхъ руслахъ	237
Объ объемлющей подпорной кривой при проходѣ с. в. водъ.	247
Обезпеченность устойчивости мостовыхъ сооружений при с. в. водъ.	248
Мосты на каменныхъ опорахъ:	
Мостъ черезъ р. Бузанъ.	248
» » » Рычу.	251
» » » Болду	253
Мосты на деревянныхъ опорахъ:	
Мостъ черезъ р. Ахтубу.	260
Мостъ черезъ ер. Гвинушу. Описаніе глубокаго размыва русла. Де- формація моста и мѣры принятія для его сохраненія	269
9 мостовъ черезъ малые водотоки: Банный, Безымянный, Проточный, Узк. Есаулъ, Кр. Бузь, Волтайка, Угланъ, Утюкинъ и Отводъ	279
Назначеніе отверстій постоянныхъ мостовъ взаменъ 11 временныхъ.	284
Заключеніе	291

СПИСОКЪ ВѢДОМОСТЕЙ

ВЪ ТОМѢ II.

№№ вѣдомостей.	НАИМЕНОВАНИЕ ВѢДОМОСТЕЙ.	Страницы.
55	Вѣдомость наибольшихъ разностей горизон- товъ водъ по обѣ стороны полотна. . . .	10
56	Выборка изъ вѣд. 67 величинъ отношеній $\frac{S_n}{Q_n}$ и расходовъ S_n въ дельтовыхъ отверстіяхъ, расположенныхъ въ порядкѣ нарастанія мощности ихъ русель	55
57	Вѣдомость: а) возвышеній водораздѣловъ возлѣ полотна надъ горизонтами воды въ мостовыхъ руслахъ непосредственно пе- редъ отверстіями, и б) длинъ боковыхъ щекъ воронокъ, при наивышемъ наблю- денномъ горизонтѣ.	63
58	Таблица отверстій трубъ по формулѣ Бресса по соответствующимъ расходамъ при до- пущенной скорости по дну лотка.	104
59	Расчетная вѣдомость отверстій каменныхъ трубъ по обычно примѣняемой формулѣ Бресса, по формулѣ неполнаго водослива и по вновь выведеннымъ формуламъ (54) и (55).	116
60	Вѣдомость угловъ отклоненія русловыхъ струй отъ нормали къ отверстию.	162
61	Вѣдомость наблюденныхъ разностей гори- зонтовъ водъ въ мостовыхъ руслахъ. . . .	184
62	Вѣдомость расчетныхъ подпоровъ при дель- товыхъ отверстіяхъ по формулѣ $h = \frac{u^2}{2g}$, и дѣйствительнаго возвышенія водораздѣ- ловъ возлѣ полотна надъ горизонтами воды въ сѣченіяхъ мостовыхъ русель пе- редъ отверстіями	190

№№ вѣдомостей.	НАИМЕНОВАНИЕ ВѢДОМОСТЕЙ.	Страницы.
63	Вѣдомость наибольшихъ наблюденныхъ перепадовъ между тиховодьями за дамбами. .	201
64	Вѣдомость сравненія отверстій одного бассейна по тиховоднымъ перепадамъ и среднимъ скоростямъ на водотокахъ съ мало отличающейся бытовой мощностью русель.	202
65	Таблица расходовъ нормального участка водотока, при ширинѣ $l_0 = 100$ саж., уклонѣ $i_0 = 0.0001$ и коэффициентѣ шероховатости въ формулѣ Базена $\gamma = 1.30$ въ метр. мѣрахъ и $\gamma = 0.89$ въ сажен. мѣрахъ	214
66	Таблица расчета приращенія w скорости въ отверстіи противъ бытовой скорости	220
67	Сводная вѣдомость ожидаемыхъ гидравлическихъ элементовъ въ мостовыхъ руслахъ при горизонтѣ с. в. водъ	228
68	Таблица опредѣленія уравненій линій зависимости между y и h_t , и расчета наибольшихъ тиховодныхъ перепадовъ $\max. h_t$	232
69	Таблица расчета отмѣтокъ наивысшей объемлющей подпорной кривой при горизонтѣ с. в. водъ	238
70	Вѣдомость измѣненій площади живаго сѣченія ер. Гнилуши въ 7 саж. выше моста въ періодъ спада водъ	271
71	Вѣдомость глубинъ свай въ грунтѣ послѣ размыва опоръ №№ 4, 5 и 6 на ер. Гнилушѣ	274
72	Описаніе состоянія мостовыхъ русель 9-ти деревянныхъ мостовъ при проходѣ высокихъ водъ 1908 г.	280
73	Вѣдомость отверстій постоянныхъ мостовъ, вмѣсто 11 временныхъ	288

Томъ II.

Часть пятая.

Выводы изъ результатовъ наблюдений въ отношеніи пропуска водъ черезъ отверстія.

ГЛАВА IX.

О водопропускной работѣ отверстій и явленіяхъ ее сопро- вождающихъ.

По распространенному представленію подпоръ образуемый пересѣченіемъ водотока и его разлива имѣетъ мѣсто непосредственно передъ отверстіемъ. Къ такому представленію привели данныя опытовъ гидравликовъ (Лебро, Френсиса, Фтили и Стирнса и др.), обнаружившихъ паденіе уровня воды передъ водосливомъ всего на протяженіи $1\frac{1}{2}$ — 3 метр., и maximum по наблюденіямъ Базена — 5 метр. Затѣмъ, по существующему представленію въ отверстіи происходитъ болѣе или менѣе рѣзко выраженное паденіе подпора и непосредственно ниже отверстія горизонтъ воды сливается съ бытовымъ горизонтомъ. Все протяженіе, на которомъ происходитъ переходъ отъ подпертой поверхности передъ отверстіемъ до бытоваго уровня ниже отверстія, по существующему представленію, имѣетъ ничтожный размѣръ, по однимъ даннымъ въ 4 саж. *) и по другимъ — отъ 1 до 2—3 саж. **). Это представленіе о работѣ отверстій изо-

Явленіе водныхъ во-
ронокъ и бугровъ.

*) Проф. Л. Ф. Николаи. „Мосты“ стр. 175: „для мостовъ $\lambda = \lambda' = 14$ фут.“, слѣдовательно $\lambda + \lambda' = 28$ фут.

**) Проф. Г. П. Передерій „Мосты“, ч. I стр. 85.

бражается чертежемъ 148 (Л. LXX), гдѣ h_k — кажущійся подпоръ, h_d — дѣйствительный подпоръ, b — длина опоръ и zn — бытовая водная поверхность. То же представлѣніе изображается чер. 150/246 *) и 151 **) (Л. LXX).

Въ дѣйствительности, наблюденія 1908 г. обнаружили, что явленіе водопрпускной работы отверстія происходитъ въ иномъ видѣ. Подпоръ, подъ вліяніемъ котораго происходитъ работа отверстія, достигаетъ своего полного значенія не возлѣ самого отверстія, а въ удаленіи отъ него, и къ отверстию не подходитъ та постепенно нарастающая до самого отверстія подпорная поверхность st (чер. 148), которая обычно предполагается ***). Тотъ подпоръ h , который обычно опредѣляется, въ дѣйствительности является лишь частью полного подпора, остающагося неизвѣстнымъ. Точно такъ же и ниже отверстія водная поверхность переходитъ къ бытовому уровню не непосредственно возлѣ отверстія, а въ болѣе или менѣе значительномъ отъ него удаленіи.

Передъ отверстіемъ всегда образуется воронкообразное пониженіе подпертой водной поверхности, а ниже отверстія водный бугоръ разливающейся воды. Воронкообразное пониженіе водной поверхности передъ отверстіемъ можетъ быть названо водной воронкой.

Описаніе наблюден-
ныхъ водныхъ воро-
нокъ и бугровъ.

Явленіе воронокъ и бугровъ было наблюдено при всѣхъ дельтовыхъ отверстіяхъ во время прохода высокихъ водъ 1908 г. Результаты наблюденій представлены на чер. 73 (Л. XXVIII) и 99 — 112 (Л. LII — LVIII).

*) Чер. 150/246 извлеченъ изъ соч. „Мосты“ Проф. Л. Ф. Николаи (стр. 152), тамъ же подпоръ изображается тождественнымъ чертежемъ 291 (стр. 229).

**) Чер. 151 извлеченъ изъ соч. „Отверстія для пропуска текучихъ водъ“ Н. І. Голиневича.

***) Инж. В. А. Вислоцкій, придерживаясь общепринятаго понятія о подпорѣ, такъ рисуетъ водную поверхность передъ отверстіемъ: „при значительномъ подпорѣ подпертая вода образуетъ прудъ, поверхность котораго уже въ сравнительно небольшомъ разстояніи отъ моста горизонтальна“. („О неудовлетворительности гидравлическихъ формулъ принятыхъ нынѣ для расчета отверстій малыхъ мостовъ и соображенія о замѣнѣ этихъ формулъ другими ближе выражающими дѣйствительность“ Журн. М. П. С. 1901 г., кн. 3-ья, стр. 129).

На чер. 73, на планѣ показано направленіе теченія водъ, наблюденное съ верховой и съ низовой стороны линіи вдоль всего дельтоваго участка; а на разрѣзахъ показано очертаніе водной поверхности вдоль линіи съ верховой и съ низовой ея стороны за всѣ дни наблюденій съ 25 Мая по 10 Іюня 1908 г. Для ясности чертежа водныя поверхности разбиты съ каждой стороны линіи на двѣ группы: для періода подъема водъ (25—27 Мая) и для періода спада (28 Мая—10 Іюня); всего на чертежѣ представлено 4 группы разрѣзовъ съ 31 очертаніемъ водныхъ поверхностей.

Всѣ данныя на чер. 73 нанесены въ масштабѣ, на основаніи показаній 150 водомѣрныхъ постовъ *), изъ которыхъ 34 были поставлены въ мостовыхъ руслахъ **), 31 за струенаправляющими дамбами въ тиховодьяхъ, 80 вдоль полотна между мостовыми отверстіями и 5 по берегамъ р.р. Болды и Волги на территоріи г. Астрахани. Послѣдніе 5 постовъ были поставлены для связи наблюденій съ Бутузскимъ водомѣрнымъ постомъ Округа П. С. и для наблюденій кореннаго русла р. Волги ниже истока р. Болды. За малыми исключеніями посты были парные, т. е. противъ рейки съ верховой стороны линіи находилась рейка съ низовой стороны. Мѣста всѣхъ постовъ (реекъ) показаны на чертежѣ; при каждомъ изъ нихъ поставленъ нумеръ; причемъ нечетные нумера относятся къ верховымъ постамъ, а четные — къ низовымъ. Ввиду того, что каждому низовому посту данъ нечетный нумеръ, слѣдующій по порядку за четнымъ номеромъ парнаго верховаго поста, а не всѣ посты были парные, то нумерованіе ихъ не соответствуетъ числу постовъ; послѣдній постъ имѣетъ № 153, между тѣмъ какъ число нанесенныхъ на чертежъ постовъ 150. Послѣдній постъ № 153, расположенный на р. Бутузі, представляетъ собою водомѣрный постъ Казанскаго Округа П. С.

Кромѣ нанесенныхъ на чер. 73-мъ 150 постовъ въ дѣйствительности наблюденія производились еще на 28-ми постахъ, поста-

*) Журналъ показаній водомѣрныхъ постовъ приведенъ въ прил. 4.

**) Подъ мостовымъ русломъ разумѣется участокъ русла въ пределахъ струенаправляющихъ дамбъ.

вленныхъ частью въ самыхъ отверстіяхъ подъ мостами (17 рекъ) и частью въ удаленіи отъ линіи (11 рекъ); но такъ какъ эти посты не относятся къ очертанію водныхъ поверхностей непосредственно рядомъ съ желѣзнодорожнымъ полотномъ главнаго пути въ предѣлахъ дельтоваго участка, то они на чер. 73 не нанесены.

На чертежахъ 99—112 показано направленіе струй въ предѣлахъ отверстій, а также выше и ниже ихъ. Главное направленіе теченія въ каждомъ руслѣ показано на чертежахъ стрѣлками съ опереніемъ. Эти чертежи составлены въ масштабѣ не только въ отношеніи плана сооруженій, но и въ отношеніи наблюденныхъ скоростей теченія, значеніе которыхъ изображено на чертежахъ соотвѣтственной густотою линій струй. На этихъ чертежахъ нанесены также всѣ наблюденные искаженія струй въ мостовыхъ руслахъ и водовороты. Не могло быть на чертежахъ показано лишь мѣстное искаженіе струй подъ самымъ мостомъ и непосредственно возлѣ него, которое создается вліяніемъ опоръ. Это искаженіе, именно, сжатіе струй въ пролетахъ наблюдалось въ наиболѣе сильной степени въ отверстіяхъ перекрытыхъ деревянными мостами съ густо поставленными опорами.

При разсмотрѣніи чертежей 73 и 99—112 не слѣдуетъ упускать изъ виду, что общее направленіе бытоваго теченія потока на дельтѣ не нормально къ желѣзнодорожной линіи, а составляетъ съ нормалью уголъ въ общемъ около 35° ; благодаря чему водная поверхность вдоль линіи съ верховой и съ низовой стороны имѣетъ общее паденіе отъ сѣвернаго конца линіи къ южному (Астраханскому) концу.

Разсмотрѣніе чертежей 73 и 99—112 обнаруживаетъ прежде всего, что водная поверхность вдоль линіи съ верховой стороны, имѣя общее паденіе къ югу, имѣла мѣстныя пониженія противъ отверстій, а съ низовой стороны линіи имѣла мѣстныя выпуклости противъ отверстій. По мѣрѣ измѣненія горизонта водъ очертаніе водной поверхности вдоль линіи какъ съ верховой, такъ и съ низовой ея стороны измѣняется въ общемъ въ правильной постепенности. Нѣкоторый, вообще весьма незначительный, перебой линій водныхъ поверхностей объясняется отчасти погрѣшностью наблюденій, главнымъ же образомъ вліяніемъ волненія,

а также нагона и стога водъ вѣтрами во время наблюденій. Какъ видно изъ вѣд. 25, въ теченіи нѣсколькихъ дней во время наблюденій, именно, съ 30 Мая по 5 Іюня стояли вѣтренные дни, причемъ вѣтеръ достигалъ скорости 14 и даже 20 $\frac{\text{метр.}}{\text{сек.}}$. Особенно сильное искаженіе водной поверхности наблюдалось 1 Іюня при N вѣтрѣ, а потому этотъ день въ чер. 73 не включенъ.

Затѣмъ, въ отношеніи водной поверхности съ *верховой стороны* линіи изъ чер 73 замѣчается слѣдующее:

а) Такъ какъ водная поверхность въ мостовыхъ руслахъ передъ отверстіями понижена относительно прилегающихъ верховыхъ поверхностей какъ съ сѣверной, такъ и съ южной стороны, то въ соотвѣтствіи съ этимъ, воды сливаются въ мостовыя русла не только съ сѣверной и западной сторонъ въ согласіи съ направленіемъ бытоваго теченія, но также и съ южной стороны, т. е. въ направленіи обратномъ бытовому теченію. При такихъ условіяхъ передъ отверстіями образовались полныя водныя воронки.

б) Водораздѣльные пункты возлѣ желѣзнодорожной линіи, т. е. пункты раздѣла теченія на сѣверъ и на югъ между каждыми двумя отверстіями лежатъ ближе къ сѣверному изъ нихъ; благодаря чему сѣверныя щеки воронокъ получились болѣе длинныя, чѣмъ южныя, и воронки получили форму неправильную, косую, удлинненную къ сѣверу. Это явленіе объясняется косиною пересѣченія дельтоваго потока желѣзнодорожной линіей. При нѣкоторыхъ мостахъ малая протяженность южныхъ щекъ воронокъ уменьшалась еще болѣе по причинѣ загражденій, которыя создаются южными береговыми гривками; такое вліяніе гривокъ особенно замѣтно на р. Бузанѣ и р. Рычѣ. Исключеніе составляетъ лишь водораздѣлъ между Отводомъ 3-хъ ериковъ (мостъ 511 вер.) и р. Болдою, онъ приближенъ къ южному отверстію, именно: къ р. Болдѣ, и поэтому южная щека воронки моста 511 вер. получилась длиннѣе сѣверной щеки смежной воронки Болдинскаго моста. Это исключеніе объясняется обособленностью южной части дельтоваго участка отъ р. Болды, благодаря возвышенной гривкѣ и каналу Болдинской приставной вѣтви.

Водораздѣльные пункты возлѣ полотна не постоянны, а перемѣщаются въ связи съ измѣненіемъ горизонта водъ. Именно, при подъемѣ водъ воронка при отверстіи развивается и удаляетъ водораздѣльные пункты отъ отверстія; а такъ какъ въ данномъ случаѣ при всѣхъ отверстіяхъ происходили измѣненія воронокъ одновременно или въ сторону развитія или въ сторону уменьшенія, то водораздѣльные пункты перемѣщались подъ вліяніемъ измѣненія воронки ближайшаго отверстія. Такъ, изъ чер. 73 усматривается, что при спадѣ водъ водораздѣлы приближались къ ближайшимъ отверстіямъ. Особенно наглядно перемѣщеніе водораздѣльнаго пункта было видно у р. Бузана, гдѣ при высшихъ горизонтахъ до 3 Іюня у головы Астраханской верховой струенанправляющей дамбы наблюдалось теченіе съ поймы въ рѣку, а съ 4 Іюня, послѣ общаго пониженія горизонта водъ и послѣ уравниенія горизонта на поймѣ и въ рѣкѣ, наблюдалось теченіе въ обратную сторону изъ рѣки на пойму; слѣдовательно, водораздѣльный пунктъ между р. Бузаномъ и ер. Баннымъ съ паденіемъ горизонта водъ перемѣстился въ сторону р. Бузана. Такъ же южный водораздѣлъ при мостѣ черезъ р. Рычу подошелъ при спадѣ водъ къ самому руслу рѣки.

в) Начиная отъ водораздѣльныхъ пунктовъ уклонъ водъ вдоль желѣзнодорожнаго полотна на дельтѣ растеть; но особенно рѣзко онъ увеличивается вблизи отверстій. Въ соотвѣтствіи съ этимъ скорости теченія вдоль полотна линіи, едва уловимыя вблизи водораздѣльныхъ пунктовъ, растутъ по мѣрѣ приближенія къ отверстіямъ, оставаясь все же незначительными на бѣльшей части протяженія между отверстіями; но при подходѣ къ мостовымъ русламъ теченіе вдоль линіи пріобрѣтаетъ во всѣхъ случаяхъ сравнительно большія скорости, достигая у головъ струенанправляющихъ дамбъ при нѣкоторыхъ мостахъ $0.50 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ и въ одномъ случаѣ была наблюдаена даже скорость въ $0.60 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (вѣд. 60 *).

*) Гл. XI.

г) При подъемѣ воды глубина воронокъ растетъ и уклонъ ихъ щекъ увеличивается. При спадѣ водъ получается обратное явленіе, воронки постепенно становятся менѣ глубокими и менѣ замѣтными. Эта закономерность искажается подѣ дѣйствіемъ вѣтровъ, сопровождающихся нагономъ или сгономъ водъ. Нагонъ воды вѣтромъ съ верховой стороны и сгонъ съ низовой, имѣютъ послѣдствіемъ увеличеніе перепада, подпора и размѣровъ воронки; вѣтеръ, дующій въ обратную сторону, даетъ противуположные результаты.

д) Въ каждый моментъ глубины воронокъ и крутизна ихъ щекъ при всѣхъ дельтовыхъ отверстіяхъ различны; причемъ при большихъ, мощныхъ водотокахъ (р.р. Ахтуба, Бузанъ, Болда) явленіе воронокъ выражается менѣ рѣзко, чѣмъ въ то же время при малыхъ водотокахъ, гдѣ уклоны щекъ воронокъ круче.

е) Щеки воронокъ имѣютъ выпуклое очертаніе.

ж) О размѣрахъ воронокъ передъ мостами на дельтѣ даютъ понятіе слѣдующія цифровыя данныя: длины боковыхъ щекъ воронокъ вдоль полотна пути наблюдаемы отъ 90 до 2100 саж., въ среднемъ 262 саж. для южныхъ щекъ и 1091 саж. для сѣверныхъ щекъ (вѣд. 57). Что касается протяженія щекъ въ сторону отъ полотна, то такое было прослѣжено наблюденіями 1908 г., къ сожалѣнію, лишь въ нѣкоторой части, а не полностью, по той причинѣ, что въ соотвѣтствіи съ составленной до приступа къ наблюденіямъ программой, не предвидѣвшей явленія воронокъ, подготовительныя работы по установкѣ постовъ и створовъ были произведены лишь вдоль полотна непосредственно вблизи его и въ предѣлахъ мостовыхъ руселъ; когда же въ началѣ наблюденій выяснилось, что воронки охватываютъ обширныя площади, то уже не представлялось возможности при высокихъ водахъ поставить дополнительные посты и створы вдали отъ желѣзнодорожной линіи, какъ бы это слѣдовало для полнаго изученія воронокъ. Тѣмъ не менѣ, какъ видно изъ чер. 99—112 (Л. II—LVIII) воронки были прослѣжены на длину отъ 140 до 250 саж., считая

отъ отверстій по направлеңію бытовыхъ русель. Полныя длины воронокъ превышаютъ эти размѣры.

Въ отношеніи водной поверхности съ *низовой стороны* линіи изъ разсматриваемыхъ чертежей замѣчается слѣдующее:

а) Водная поверхность въ мостовыхъ руслахъ ниже отверстій возвышается во всѣхъ случаяхъ надъ прилегающей водной поверхностью съ южной стороны и, кромѣ того, при 8-ми мостахъ черезъ р.р. Ахтубу, Бузанъ, ер. Банный, р.р. Крив. Бузъ, Рычу, ерики: Угланъ, Утюпкинь и Отводъ водная поверхность низовой части мостоваго русла возвышается также и надъ прилегающей водной поверхностью съ сѣверной стороны. Въ соотвѣтствіи съ этимъ, въ перечисленныхъ случаяхъ воды разливаются изъ мостоваго русла во всѣ три стороны и образуютъ полный водный бугоръ разливающейся воды. Однако-жъ, вслѣдствіе косины пересѣченія дельтоваго потока распространеніе бугровъ при перечисленныхъ отверстіяхъ въ сѣверную сторону меньшее, чѣмъ въ южную; а потому водные бугры имѣли форму косую, удлиненную къ югу.

При прочихъ отверстіяхъ вліяніе косины пересѣченія и общаго паденія водной поверхности къ югу отразилось еще въ бѣльшей степени, (ерики: Безымянный, Проточный, Узк. Есауль, Болтайка и Гнилуша). При нихъ водная поверхность въ низовой части мостовыхъ русель не только не возвышается, но даже понижена относительно прилегающей водной поверхности съ сѣверной стороны. Въ соотвѣтствіи съ этимъ при перечисленныхъ отверстіяхъ воды разливаются въ сторону отъ линіи и на югъ вдоль нея, на сѣверъ же не разливаются, и водные бугры наблюдаются не полные. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ наблюдалось временное распространеніе бугра на сѣверъ, именно, при с. в. горизонтахъ водъ, когда воды проходили черезъ отверстія съ большими уклонами и скоростями; при спадѣ же водъ распространеніе бугра въ сѣверную сторону исчезаетъ, поемная вода съ сѣверной низовой поймы начинаетъ поступать въ мостовое русло и бугоръ становится не полнымъ. Р. Волда въ отношеніи низоваго бугра выдѣляется изъ ряда про-

чихъ отверстій, такъ какъ ея бугоръ боковыхъ щекъ не имѣетъ, вслѣдствіе того, что рѣчное русло ограничено на обоихъ берегахъ незатопляемыми дамбами, на правомъ берегу городскимъ оградительнымъ валомъ и на лѣвомъ берегу полотномъ пристанной вѣтви.

б) Поверхностный уклонъ водныхъ бугровъ различенъ для сѣверной и южной щекъ и уменьшается по мѣрѣ удаленія отъ отверстія. Соотвѣтственно съ этимъ и скорости теченія водъ уменьшаются по мѣрѣ удаленія отъ отверстія.

Вообще же сливъ водъ изъ мостовыхъ руселъ на низовыя поймы происходитъ съ меньшими скоростями, чѣмъ вливаніе водъ въ мостовыя русла съ верховыхъ поймъ.

в) По мѣрѣ подъема горизонта водъ водные бугры растутъ въ высоту, уклонъ ихъ щекъ и скорости теченія увеличиваются; при спадѣ водъ водные бугры понижаются и дѣятельность ихъ ослабѣваетъ. Слѣдовательно, измѣненія водныхъ бугровъ слѣдуютъ за измѣненіями водныхъ воронокъ.

г) Въ каждый данный моментъ высоты бугровъ и крутизна ихъ щекъ во всѣхъ дельтовыхъ отверстіяхъ различны; причѣмъ въ большихъ, мощныхъ водотокахъ явленіе бугровъ выражается менѣе рѣзко по сравненію со многими малыми водотоками.

Для выясненія *разности горизонтовъ по обѣ стороны полотна* чер. 73 не достаточно ясенъ, а потому съ цѣлью болѣе яснаго представленія очертанія водной поверхности по обѣ стороны полотна и для выясненія разности горизонтовъ сдѣлано на чер. 75 (Л. XXIX) совмѣщеніе верховыхъ и низовыхъ водныхъ поверхностей для двухъ дней наблюденій: 27 Мая (день наивысшаго горизонта) и 7 Іюня (одиннадцатый день спада). Изъ этого чертежа и изъ составленной на основаніи его вѣд. 55 можно сдѣлать слѣдующія заключенія:

а) Разность горизонтовъ по обѣ стороны полотна растетъ по мѣрѣ удаленія отъ отверстій; хотя это явленіе въ данномъ случаѣ нѣсколько искажается вліяніемъ косины пересѣченія потока.

ВѢДОМОСТЬ 55

наибольшихъ разностей горизонтовъ водъ по обѣ стороны полотна.

№ по по- рядку.	МЕЖДУ КАКИМИ ОТВЕРСТІЯМИ.	Наибольшія разности гориз. по наблюден.:		Раздѣленіе воднаго пространства на от- дѣльные бассейны.
		27 Мая.	7 Іюня.	
		въ сотыхъ доляхъ саж.		
1	Сѣв. граница разл.—р. Ахтуба.	6.5	4.5	Сѣверный бас- сейнъ.
2	р. Ахтуба—р. Бузанъ	10.0	8.0	
3	р. Бузанъ—ер. Банный. . . .	6.5	3.0	
4	ер. Банный—ер. Безымянный	7.0	4.5	
5	ер. Безымян.—ер. Проточный.	9.0	5.5	
6	ер.Проточный—ер.Узк.Есауль.	10.5	7.0	Второй, средній бассейнъ.
7	ер. Узк. Есауль—р. Крив.Бузь.	10.5	7.0	
8	р. Крив. Бузь—ер. Болтайка.	11.5	9.0	
9	ер. Болтайка—ер. Гнилуша. .	13.0	10.0	
10	ер. Гнилуша—р. Рыча	15.5	13.5	
11	р. Рыча—ер. Угланъ. . . .	18.5	7.0	Южн. бассейнъ.
12	ер. Угланъ—ер. Утюпкинъ . .	11.5	4.5	
13	ер. Утюпкинъ—Отв. 3-хъ ерик.	12.0	4.5	
14	Отводъ 3-хъ ериковъ—р.Болда.	8.5	7.0	

б) Наибольшая разность горизонтовъ по обѣ стороны полотна между отверстіями и при наивышемъ подъемѣ водъ (27 Мая) наблюдалась отъ 0.065 до 0.185 саж.; при спадѣ же водъ 7 Іюня эта же разность наблюдалась отъ 0.03 до 0.135 саж.

Такимъ образомъ по мѣрѣ спада водъ разность горизонтовъ по обѣ стороны полотна убываетъ и, слѣдовательно, убываетъ и перепадъ, подѣ вліяніемъ котораго работаютъ отверстія. При подъемѣ водъ происходитъ явленіе обратное, т. е. возрастаніе разности горизонтовъ водъ по обѣ стороны полотна и возрастаніе перепада, подѣ дѣйствіемъ котораго работаютъ отверстія.

в) Максимальная разность горизонтовъ по обѣ стороны полотна ни въ одномъ пунктѣ не была значительной; maximum наблюдался между р. Рычей и ер. Угланомъ и достигалъ лишь 0.185 саж.

г) Разности горизонтовъ по обѣ стороны полотна до нѣкоторой степени освѣщаютъ вопросъ о размѣрахъ полныхъ перепадовъ, подѣ дѣйствіемъ которыхъ работаютъ отверстія. Однако-жѣ, на основаніи дальнѣйшаго изслѣдованія слѣдуетъ замѣтить, что разности горизонтовъ по обѣ стороны полотна вслѣдствіе неполноты воронокъ и бугровъ, вообще говоря, менѣе дѣйствительныхъ полныхъ перепадовъ, и что во многихъ случаяхъ на дельтѣ эти разности искажены тѣмъ, что на горизонты водъ вдоль линіи между отверстіями повліяли мѣстныя особенности, каковы: гривки и сооруженныя вѣтви, что особенно наглядно видно изъ чер. 73 между р. Рычей и ер. Угланомъ, между Отводомъ 3-хъ ериковъ и р. Болдою, между р. Бузаномъ и ер. Баннымъ и между р. Бузаномъ и р. Ахтубою.

д) Ниже выяснено раздѣленіе всего воднаго пространства дельты на 4 отдѣльные, болѣе или менѣе обособленные водные бассейны: сѣверный до р. Бузана включительно, второй—ер. Банный—р. Рыча, южный—ер. Угланъ—Отводъ, и четвертый бассейнъ—р. Болда. Принимая это во вниманіе, изъ вѣд. 55 видно нарастаніе разности горизонтовъ водъ въ каждомъ бассейнѣ отъ сѣвера къ югу, т. е. по направленію общаго теченія водъ; что указываетъ на нарастаніе перепада къ югу вслѣдствіе косины пересѣченія потока. Съ особенной наглядностью это явленіе нарастанія перепада выступаетъ для второго бассейна: Банный—Рыча. Въ южномъ бассейнѣ наблюдаются неправильности въ рас-

предѣленіи разностей горизонтовъ вслѣдствіе настолько рѣзкаго отдѣленія его отъ сосѣднихъ бассейновъ высокими гривками, что даже при самомъ высокомъ горизонтѣ воды изъ р. Рычи ниже линіи почти не сливались на южную пойму; вслѣдствіе чего наблюдалось рѣзкое пониженіе уровня воды съ низовой стороны линіи южнѣе Рычи, въ то время какъ съ верховой стороны линіи водная поверхность между р. Рычей и ер. Угланомъ постепенно выравнивалась и при высшихъ горизонтахъ была почти общая. Этимъ именно и объясняются сравнительно большія разности горизонтовъ водъ по обѣ стороны полотна на участкѣ между р. Рычей и ер. Угланомъ при высшемъ стояніи воды.

Въ отношеніи *протеканія водъ* въ частяхъ воронокъ и бугровъ ближайшихъ къ отверстіямъ наблюденія указали слѣдующее:

а) Въ предѣлахъ воронокъ воды сливаются въ мостовыя русла вѣрообразно. Вѣеръ струй въ воронкѣ искажается вліяніемъ косины пересѣченія потока и вліяніемъ мѣстныхъ особенностей; воды задерживаются въ мѣстахъ представляющихъ препятствія ихъ движенію и устремляются по старымъ русламъ, протокамъ, логамъ, резервамъ и вообще по пути меньшаго сопротивленія.

б) Точно также, по выходѣ изъ отверстій воды устремляются съ особой силой по бытовымъ русламъ и затѣмъ по резервамъ, вслѣдствіе чего форма низовыхъ водныхъ бугровъ искажается.

в) Поемныя воды, сливаясь въ мостовое русло по щекамъ воронки, врѣзаются въ бѣльшей или меньшей степени въ русловыя струи и перебиваютъ ихъ.

г) Во многихъ случаяхъ въ воронкахъ и буграхъ вблизи отверстій образуются водовороты, препятствующіе проходу воды.

д) Скорости протеканія водъ весьма различны въ разныхъ частяхъ одного и того же живаго сѣченія мостовыхъ русель.

Изъ изложеннаго видно, что на явленіе протеканія водъ черезъ отверстія оказываютъ большое вліяніе *мѣстныя особен-*

ности районовъ водныхъ воронокъ и бугровъ. Въ числѣ мѣстныхъ особенностей, нарушающихъ правильность протеканія водъ, главное мѣсто занимаютъ съ одной стороны русла и лога, облегчающіе движеніе воды, и съ другой стороны незатопляемые, или мало заливаемые участки и заросли, затрудняющіе движеніе воды.

Къ болѣе значительнымъ мѣстнымъ особенностямъ на дельтѣ относятся: 1) возвышенная грядка вдоль праваго берега р. Бузана, отдѣляющая водное пространство, въ которое входятъ р.р. Ахтуба и Бузань, въ обособленный сѣверный бассейнъ; 2) мало заливаемая грядка на правомъ берегу р. Крив. Буза; 3) высокія грядки на правомъ берегу р. Рычи и въ 300 саж. отъ нея вдоль Бол. Углана, отдѣляющія второй бассейнъ Банный — Рыча отъ третьяго южнаго бассейна Угланъ-Отводъ; 4) высокія грядки окаймляющія южный бассейнъ со стороны р.р. Волги и Болды, и наконецъ, 5) полотно сооруженныхъ желѣзнодорожныхъ вѣтвей и пристанныхъ путей на лѣвомъ берегу р. Бузана и р. Болды.

По поводу заливаемыхъ препятствій движенію воды въ предѣлахъ воронки и бугра, каковы возвышенныя грядки, слѣдуетъ замѣтить, что по мѣрѣ заливанія ихъ при подъемѣ водъ вліяніе ихъ на движеніе водъ ослабѣваетъ и, напротивъ, чѣмъ ниже горизонтъ воды, тѣмъ вліяніе препятствій болѣе сильно. Подтвержденіе этого даютъ показанія реекъ 97 и 99, поставленныхъ съ верховой стороны при лѣвобережной грядкѣ ер. Бол. Углана на 500-й верстѣ; здѣсь при с. в. горизонтахъ водная поверхность выравнивалась и вліяніе грядки почти исчезало, между тѣмъ какъ при спадѣ водъ перепадъ надъ грядкой постепенно возрасталъ; въ концѣ наблюденій по обнаженіи грядки перепадъ достигъ 0.12 саж.

Таковы общія заключенія изъ наблюденій, результаты которыхъ представлены на чер. 73, 75 и 99—112. Болѣе детально, съ цифровыми данными эти результаты изучаются далѣе при разсмотрѣніи отдѣльныхъ элементовъ явленія прохода водъ черезъ отверстія.

Разумѣется, наблюденныхъ данныхъ далеко не достаточно для того, чтобы можно было вполне изучить явленіе вод-

ныхъ воронокъ и бугровъ и явленіе прохода водъ черезъ отверстія во всей его совокупности. Къ имѣющимся даннымъ необходимо прежде всего присоединить наблюденія водъ во всемъ районѣ охваченномъ воронками и буграми. Отсутствіемъ этихъ данныхъ изученіе явленій, сопровождающихъ работу отверстій весьма затруднено; но все же въ дальнѣйшей части настоящей главы сдѣлана попытка изученія природы означенныхъ явленій, насколько это возможно, при имѣющихся данныхъ. Во всякомъ случаѣ, *сдѣланные въ настоящей главѣ выводы требуютъ подтвержденія дальнѣйшими подробными наблюденіями, охватывающими весь районъ, на который распространяется вліяніе перехода черезъ водотокъ.*

Понятіе полного под-
пора и перепада.

Въ согласіи съ изложенными результатами наблюденій 1908 г. явленіе прохода водъ черезъ отверстія и въ томъ числѣ очертаніе водной поверхности по обѣ стороны отверстія и форма перепада водъ между верховымъ и низовымъ бьефами, могутъ быть изображены, въ искаженномъ для ясности видѣ, рисункомъ 155 (Л. LXXI) и чертежемъ 147 (Л. LXX). Эти изображенія показываютъ, что подпоръ, создаваемый стѣнкой или полотномъ и сооружениями въ каналѣ или на водотокѣ и его разливѣ распространяется на значительное разстояніе выше линіи пересѣченія до нѣкоторой линіи n — начала подпора (чер. 147). Начиная отъ линіи n , подпоръ постепенно растетъ и на каждой линіи тока достигаетъ своего maximum'a k' между линіей начала подпора и отверстиемъ. *По разнымъ линіямъ тока въ одномъ водотокѣ величины k' различны.* Линія, проходящая черезъ всю ширину канала или водотока съ его разливомъ по точкамъ k' наибольшаго подпора, т. е. линія окаймляющая воронку, въ дальнѣйшемъ называется *подпорной линіей*. Начиная отъ подпорной линіи, образуются передъ отверстиями водныя воронки, постепенно углубляющіяся по мѣрѣ приближенія къ отверстиямъ, гдѣ онѣ достигаютъ наибольшей глубины.

Въ разныхъ точкахъ подпорной линіи возвышеніе ея надъ соотвѣтственной бытовой линіей различно, такъ какъ величина подпора измѣняется по длинѣ подпорной линіи.

Среднее возвышеніе подпорной линіи надъ соотвѣтственной линіей бытовой водной поверхности представляет собою *тотъ полный подпоръ, подъ вліяніемъ котораго проходитъ добавочный противъ бытоваго расходъ въ отверстіи. Следовательно, полный подпоръ не есть разность горизонтовъ водъ по обѣ стороны отверстія, непосредственно возлѣ него, а нѣкоторая бѣльшая величина, которая находится вдали отъ отверстія и которая представляет собою среднее возвышеніе подпорной линіи надъ соотвѣтственной линіей бытовой водной поверхности.* Въ дальнѣйшемъ величина полного подпора при одиночномъ отверстіи обозначена буквою k .

Размѣръ подпора на каждомъ существующемъ переходѣ можетъ быть для любого момента опредѣленъ путемъ точной нивелировки водной поверхности выше отверстія на пространствѣ водной воронки и путемъ сопоставленія подпорной водной поверхности съ соотвѣтственной бытовой поверхностью.

Для выясненія понятія *полнаго перепада H* , подъ вліяніемъ котораго происходитъ водопропускная работа отверстія слѣдуетъ принять во вниманіе, что подобно тому какъ воронка окаймлена кривой подпорной линіей, имѣющей въ разныхъ точкахъ разное возвышеніе надъ бытовой поверхностью, такъ же и подошва воднаго бугра въ свою очередь представляет кривую линію, имѣющую въ разныхъ точкахъ разные уровни; а потому *полный перепадъ, подъ вліяніемъ котораго происходитъ водопропускная работа отверстія, равенъ среднему возвышенію подпорной линіи надъ линіей подошвы бугра.*

Размѣръ перепада на существующихъ переходахъ для любого момента можетъ быть выясненъ путемъ точной нивелировки водной поверхности выше и ниже отверстія на протяженіи воронки и бугра и сопоставленія ея съ соотвѣтственной бытовой поверхностью. Протяженіе перепада L равно среднему разстоянію между подпорной линіей и подошвой воднаго бугра *).

*) Во избѣжаніе недоразумѣнія, слѣдуетъ отличать величины *полнаго подпора, полного перепада и протяженія перепада, обозначенныя буквами k, H и L , отъ величинъ k', H' и L' показанныхъ на чер. 147 и представляющихъ собою подпоръ, перепадъ и протяженіе перепада не средніе для всего водотока, а лишь для одной линіи тока.*

Необходимость изучения водных воронок и бугровъ.

Присутствіе въ предѣлахъ воронки и бугра факторовъ, создающихъ дополнительное сопротивленіе, или наоборотъ уменьшеніе сопротивленія движенію воды, искажаетъ ихъ. Поэтому, въ общемъ случаѣ пересѣченія водотока и его разлива съ разнообразными мѣстными условіями, при устройствѣ отверстій разныхъ размѣровъ и разнo удаленныхъ одно отъ другого, водные воронки и бугры получаются при всѣхъ отверстияхъ различными; въ случаѣ же пересѣченія правильнаго канала съ устройствомъ нѣсколькихъ отверстій одинаковой величины и равно удаленныхъ одно отъ другого водные воронки и бугры должны получиться при всѣхъ отверстияхъ мало разнящимися (рис. 155).

Форма и размѣры воронки и бугра и величины относящихся къ нимъ гидродинамическихъ элементовъ образуются въ каждомъ случаѣ по совокупности всѣхъ условій, вліяющихъ на работу отверстія, а потому изученіе воронокъ и бугровъ, какъ опредѣляющихъ водопропускную работу отверстій, должно имѣть существенное значеніе.

Элементарнымъ случаемъ для изученія явленій, сопровождающихъ работу отверстій, является случай истеченія черезъ одно отверстие въ стѣнкѣ, заграждающей каналъ однообразной глубины съ постояннымъ расходомъ; причемъ бытовой расходъ распредѣляется равномерно по всему сѣченію канала. Затѣмъ, болѣе общимъ случаемъ, но въ то же время не осложненнымъ мѣстными особенностями, является случай пересѣченія правильнаго канала съ устройствомъ нѣсколькихъ отверстій. Частнымъ случаемъ въ обычныхъ условіяхъ является случай пересѣченія водотока съ поймою при устройствѣ одного отверстия. Наконецъ, общимъ случаемъ въ обычныхъ условіяхъ является случай пересѣченія нѣсколькихъ водотоковъ разной мощности на одномъ общемъ разливѣ, причемъ на пересѣченіи устроено нѣсколько разныхъ отверстій.

Въ дальнѣйшемъ хотя до нѣкоторой степени выясняется соотношеніе между отдѣльными элементами, входящими въ составъ явленія воронокъ и бугровъ. Вылить эти соотношенія въ видѣ явныхъ функцій въ настоящее время, къ сожалѣнію, еще не возможно; для этого необходимы дальнѣйшія наблюденія.

А. Случай прохода воды через одиночное отверстие.

Во всѣхъ случаяхъ явленіе, сопровождающее проходъ воды черезъ отверстія, происходитъ и зависитъ отъ степени стѣсненія живаго сѣченія стѣнкой или полотномъ. Въ случаѣ одного отверстия въ каналѣ, или на водотокѣ *) степень стѣсненія живаго сѣченія характеризуется отношеніемъ полного бытового расхода S канала, или водотока къ бытовому расходу Q въ тѣхъ предѣлахъ сѣченія, которыя перекрыты отверстиемъ, т. е. отношеніемъ $\frac{S}{Q}$. Въ этомъ случаѣ расходъ водотока S вмѣстѣ съ тѣмъ равенъ полному расходу въ отверстіи. *Отношеніе $\frac{S}{Q}$ есть первопричина всего явленія прохода воды черезъ отверстие.* Чѣмъ болѣе расходъ проходилъ въ бытовыхъ условіяхъ въ загражденной части водотока, тѣмъ больше отношеніе $\frac{S}{Q}$ и тѣмъ болѣе рѣзко должно выразиться явленіе водопропускной работы отверстия, съ болѣе высокимъ подпоромъ и съ болѣе высокими скоростями при данномъ горизонтѣ.

Увеличеніе бытового расхода въ отверстіи въ извѣстномъ отношеніи $\frac{S}{Q}$ не можетъ произойти безъ увеличенія бытовой средней скорости въ отверстіи. Увеличеніе же средней скорости при маломъ измѣненіи площади сѣченія является результатомъ главнымъ образомъ увеличенія уклона; добавочнымъ уклономъ создается приращеніе скорости. Въ главѣ XII, въ изслѣдованіи тиховодныхъ перепадовъ **) выяснена прямая зависимость приращенія w скорости въ отверстіи ($w = \sqrt{u^2 - v_0^2}$) отъ тиховоднаго перепада; а такъ какъ тиховодный перепадъ въ свою очередь находится въ прямой зависимости отъ уклона водной поверхности въ предѣлахъ мостоваго русла, то является несомнѣннымъ, что приращеніе скорости въ отверстіи противъ бытовой скорости находится въ прямой зависимости отъ приращенія

Изученіе главныхъ элементовъ воронки и бугра: добавочнаго уклона, полного подпора и протяженія.

*) Подъ водотокомъ разумѣется полный потокъ съ руслами и поймою.

**) Подъ тиховоднымъ перепадомъ разумѣется разность горизонтовъ воды по обѣ стороны полотна у моста въ тиховодьяхъ за струе-направляющими дамбами.

уклона. Такимъ образомъ, *добавочный противъ бытового расходъ въ отверстіи проходитъ подѣ влияніемъ добавочнаго уклона*; поэтому, прежде всего необходимо, по возможности, освѣтить явленіе образованія и измѣненія добавочнаго уклона.

Если средній уклонъ воронки и бугра назвать черезъ I , и абсолютное превышеніе уклона I надъ бытовымъ уклономъ i , т. е. средній добавочный уклонъ назвать черезъ j , то:

$$I - i = j \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28).$$

Разумѣется, уклонъ на всемъ протяженіи воронки и бугра не одинаковъ, а постепенно измѣняется и величина j является лишь среднимъ добавочнымъ уклономъ, который вводится въ изслѣдованіе для упрощенія выводовъ. Примѣнительно къ чер. 147 можно установить слѣдующую зависимость средняго добавочнаго уклона:

$$j = \frac{k}{L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (29),$$

гдѣ k — полный подпоръ, и

L — среднее протяженіе воронки и бугра.

Изъ формулы (29) видно, что размѣръ средняго добавочнаго уклона j находится въ прямой зависимости отъ величины полного подпора k . Но на разныхъ водотокахъ при одинаковомъ подпорѣ k получаются, вообще говоря, различные добавочные уклоны j въ соотвѣтствіи съ мощностью русла перекрытаго отверстіемъ.

Каждый водотокъ въ бытовыхъ условіяхъ обладаетъ болѣе или меньшей мощностью въ зависимости отъ его гидродинамическихъ элементовъ; *чѣмъ больше расходъ водотока и скорость теченія при томъ же уклонѣ, тѣмъ болѣе мощностью обладаетъ водотокъ*. Точно также и въ отношеніи части русла перекрытой отверстіемъ можно примѣнить такую же характеристику: *мощность P русла отверстія находится въ прямой зависимости отъ величины соотвѣстнаго бытового расхода Q и средней бытовой скорости v_0 , и въ обратной зависимости отъ уклона i :*

$$P = f_1(Q, v_0, i) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (30).$$

Мощность русла отверстия обладает тѣмъ свойствомъ, что при определенномъ полномъ подпорѣ k устанавливается при данномъ отверстіи определенный средній добавочный уклонъ въ строгомъ соответствии съ мощностью русла отверстия; именно, чѣмъ болѣе мощно русло отверстия, тѣмъ меньшій добавочный уклонъ j образуется при томъ же подпорѣ k . Это свойство становится понятнымъ, если принять во вниманіе, что образованіе подпора определенной величины болѣе затруднительно въ случаѣ болѣе мощнаго русла отверстия, вслѣдствіе чего определенное значеніе подпора при болѣе мощномъ руслѣ отверстия, какъ требующее большаго накопленія подпорной воды, должно сопровождаться и большимъ развитіемъ воронки по сравненію съ менѣе мощнымъ русломъ.

Кромѣ того, тотъ же добавочный уклонъ j долженъ произвести меньшее вліяніе на болѣе мощное русло отверстия по сравненію съ менѣе мощнымъ русломъ, подобно тому, какъ одинаковое квадратичное приращеніе скорости производитъ тѣмъ меньшее увеличеніе бытовой скорости, чѣмъ эта послѣдняя больше; а квадратичное приращеніе скорости, какъ показали результаты наблюденій на дельтѣ, находится въ прямой зависимости отъ добавочнаго уклона. Итакъ, отверстие съ болѣе мощнымъ русломъ труднѣе поддается вліянію подпора. Это свойство мощности русла имѣетъ, какъ видно изъ дальнѣйшаго, большое значеніе въ явленіи прохода воды черезъ отверстие. Прежде всего послѣдствіе этого свойства то, что одинаковый подпоръ не одинаково отстоитъ отъ отверстия въ разныхъ случаяхъ и чѣмъ болѣе мощно русло отверстия, тѣмъ тотъ же подпоръ (точнѣе подпорная линія) болѣе отстоитъ отъ отверстия и тѣмъ протяженіе перепада болѣе. Это свойство представлено на чер. 152 (Л. LXX), на которомъ совмѣщены воронки и бугры двухъ отверстій разной мощности ($P_1 < P_2$), въ случаѣ одинаковыхъ подпоровъ ($k_1 = k_2$). Такъ какъ при этомъ $j_1 > j_2$, то k_1 ближе подходит къ отверстию, чѣмъ k_2 , и $L_1 < L_2$.

На основаніи изложеннаго средній добавочный уклонъ j находится въ зависимости не только отъ подпора k , но еще отъ мощности русла отверстия; причемъ, j находится въ прямой зависимости отъ k и въ обратной зависимости отъ P . Кромѣ того,

на образование добавочнаго уклона оказываютъ вліяніе мѣстные особенности, каковы: мѣстоположеніе отверстія относительно всего воднаго пространства, присутствіе въ районѣ воронки и бугра острововъ, малозатопленныхъ гривокъ, русель, резервовъ, и проч.

Такимъ образомъ, средній добавочный уклонъ выражается функціей:

$$j = f_2 (\gamma, P, k) = f_2 (\gamma, Q, v_0, i, k) . . . \quad (31),$$

здѣсь: γ — коэффициентъ, выражающій вліяніе мѣстныхъ особенностей района воронки и бугра,
 Q, v_0 и i — бытовые расходъ, скорость и уклонъ русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ,
 k — полный подпоръ.

Если разсматривать одинъ и тотъ же водотокъ въ разные моменты, при разныхъ расходахъ S , то съ увеличеніемъ S подпоръ k растетъ. Въ то же время, съ увеличеніемъ расхода S воды въ отверстіи проходятъ съ бѣльшимъ приращеніемъ скорости w , и такъ какъ въ непосредственной связи съ приращеніемъ скорости находится приращеніе уклона въ отверстіи по сравненію съ бытовымъ уклономъ, а также приращеніе средняго уклона воронки и бугра, то слѣдуетъ заключить, что *увеличеніе подпора k влечетъ за собою увеличеніе добавочнаго уклона j* . Это заключеніе согласуется съ формулою (29) и съ выраженіемъ (31).

Одновременно съ увеличеніемъ j происходитъ, какъ видно изъ чер. 153 (Л. LXX), дополнительное повышеніе уровня воды въ отверстіи и увеличеніе протяженія L воронки и бугра. Слѣдовательно, оба элемента L и j находятся въ прямой зависимости отъ k , т. е. съ возрастаніемъ k на данномъ водотокѣ они оба возрастаютъ, и обратно съ уменьшеніемъ k — они оба уменьшаются.

Принимая во вниманіе, что увеличеніе добавочнаго уклона j вліяетъ на длину L въ смыслѣ ея уменьшенія, слѣдуетъ заключить, что увеличеніе подпора k вліяетъ на длину L двояко: съ одной стороны удлиняетъ L , а съ другой стороны вслѣдствіе увеличенія j укорачиваетъ L . Въ результатѣ этихъ двухъ

противуположныхъ вліяній, все же, съ увеличеніемъ k на данномъ водотокъ происходитъ удлинненіе L воронки и бугра, но ограниченное тѣмъ, чтобы при этомъ j также возрасло.

Заключеніе о возрастаніи длины воронки съ увеличеніемъ подпора совпадаетъ съ результатами опытовъ Кастеля и Буало; хотя нѣкоторые опыты Понсе и Лебро показываютъ обратное, какъ будто длина воронки увеличивается съ уменьшеніемъ подпора *). Это противорѣчіе—одинъ изъ случаевъ, указывающихъ на трудность изученія явленій однимъ лабораторнымъ путемъ.

Исходя изъ функціональнаго выраженія (31) и изъ соотношенія элементовъ k , j и L , представляется возможнымъ болѣе подробно изслѣдовать величину полного подпора k .

Выше было указано, что первопричиной явленія прохода воды черезъ отверстія является отношеніе $\frac{S}{Q}$, т. е. отношеніе расходовъ: S —пропускаемаго отверстіемъ и Q —соотвѣтственнаго бытового, проходившаго въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ. Если уменьшить отверстіе, то расходъ Q при данномъ бытовомъ горизонтѣ уменьшается, и такъ какъ расходъ S равный при одиночномъ отверстіи полному расходу водотока остается при данномъ бытовомъ горизонтѣ неизмѣннымъ, то съ уменьшеніемъ Q , отношеніе $\frac{S}{Q}$ при томъ же бытовомъ горизонтѣ увеличивается; и въ предѣлѣ, когда отверстіе закроется, $\frac{S}{Q}$ обращается въ безконечность; вмѣстѣ съ отношеніемъ $\frac{S}{Q}$ долженъ расти добавочный уклонъ j , а слѣдовательно и подпоръ k , который также обращается въ предѣлѣ въ безконечность. Съ увеличеніемъ отверстія при данномъ бытовомъ горизонтѣ расходъ Q увеличивается и въ предѣлѣ, когда отверстіе перекроетъ все водное пространство безъ стѣсненія живаго сѣченія, Q обращается въ S и отношеніе $\frac{S}{Q}$ становится равнымъ 1; при этомъ добавочный уклонъ j , а слѣдовательно и подпоръ k , слѣдующіе за $\frac{S}{Q}$, уменьшаются и въ предѣлѣ обращаются въ нуль. Слѣдуетъ замѣтить, что увеличеніе бытового расхода Q достигается двояко, или увеличеніемъ длины отверстія или же увеличеніемъ

*) Проф. Максименко. Курсъ Гидравлики, стр. 169.

глубины живаго сѣченія путемъ искусственной разработки или вслѣдствіе размыва. Во всѣхъ случаяхъ для одиночнаго отверстія съ увеличеніемъ Q отношеніе $\frac{S}{Q}$ и подпоръ k уменьшаются, и скорость теченія u въ отверстіи при этомъ убываетъ. Итакъ, чѣмъ больше Q —бытовой расходъ русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ, тѣмъ меньше отношеніе $\frac{S}{Q}$ и тѣмъ меньше k .

Изъ изложеннаго слѣдуетъ, что полный подпоръ k находится въ прямой зависимости отъ отношенія $\frac{S}{Q}$, которое является показателемъ интенсивности водопропускной работы отверстія.

Это заключеніе указываетъ на то, что въ каждомъ частномъ случаѣ далеко не безразлично, гдѣ будетъ поставлено отверстіе данной длины, и что выгоднѣе, въ смыслъ уменьшенія полного подпора k и меньшаго нарушенія бытового режима водотока, располагать отверстіе на руслѣ съ болѣе большимъ бытовымъ расходомъ Q .

Однако-жъ, изъ изложеннаго не слѣдуетъ дѣлать того заключенія, что подпоръ k зависитъ только отъ отношенія $\frac{S}{Q}$. Дѣйствительно, если на одномъ и томъ же водотокѣ съ поймою (расходъ S и бытовой уклонъ i постоянны) разсматривать два варианта отверстія, которыя такъ подобраны, что бытовые расходы Q въ нихъ одинаковы, но бытовые скорости v_0 —различны, то хотя въ обоихъ случаяхъ отношенія $\frac{S}{Q}$ получатся равныя, но подпоръ k не будетъ въ обоихъ случаяхъ одинаковымъ. Въ томъ отверстіи, въ которомъ русло обладаетъ меньшей бытовой скоростью, оно обладаетъ и меньшей мощностью; а на менѣе мощное русло одинаковый подпоръ производитъ, какъ уже извѣстно, болѣе сильное вліяніе, увеличивая въ болѣе большемъ отношеніи бытовую скорость; слѣдовательно, для того чтобы увеличить въ томъ же отношеніи $\frac{S}{Q}$ бытовой расходъ русла отверстія Q , требуется при менѣе мощномъ руслѣ образованіе меньшаго подпора. Въ силу изложеннаго, полный подпоръ находится въ прямой зависимости не только отъ отношенія $\frac{S}{Q}$, но и отъ бытовой средней скорости v_0 русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ.

Далѣе, если сравнить два самостоятельныхъ водотока съ одинаковыми v_0 и $\frac{S}{Q}$ и съ одинаковыми уклонами i , но съ различными абсолютными значеніями бытовыхъ расходовъ Q

руселъ перекрытыхъ отверстіями, то чѣмъ больше Q , т. е. чѣмъ болѣе мощно русло отверстія, тѣмъ для полученія того же добавочнаго уклона требуется, какъ уже извѣстно, болѣе подпоръ k . Слѣдовательно, полный подпоръ находится еще въ прямой зависимости отъ бытоваго расхода русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ.

Наконецъ, на двухъ водотокахъ при разныхъ бытовыхъ уклонахъ i , въ случаѣ одинаковыхъ бытовыхъ скоростей v_0 и расходовъ Q и одинаковаго отношенія $\frac{s}{Q}$, подпоръ получится не одинаковый. Съ одной стороны вслѣдствіе меньшей мощности того русла, въ которомъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ болѣе бытовой уклонъ, подпоръ опредѣленной величины ближе подойдетъ къ отверстию и тѣмъ создастъ болѣе добавочный уклонъ; по этой причинѣ русло съ большимъ уклономъ требуетъ меньшей величины подпора для того, чтобы при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ въ немъ получилось опредѣленное значеніе $\frac{s}{Q}$; съ другой же стороны опредѣленная величина добавочнаго уклона должна произвести меньшее дѣйствіе на русло съ большимъ бытовымъ уклономъ; эта зависимость вліяетъ въ обратную сторону, именно, на увеличеніе подпора передъ отверстіемъ на руслѣ съ болѣе уклономъ. Какое изъ двухъ противоположныхъ вліяній размѣра бытоваго уклона водотока на величину подпора является въ каждомъ частномъ случаѣ рѣшающимъ, опредѣлится въ результатѣ дальнѣйшихъ наблюденій; во всякомъ же случаѣ существованіе зависимости подпора отъ бытоваго уклона слѣдуетъ признать несомнѣннымъ.

Сдѣланное выше заключеніе о томъ свойствѣ бытоваго уклона водотока, что при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ подпоръ опредѣленной величины ближе отстоитъ отъ отверстія на руслѣ, обладающемъ болѣе бытовымъ уклономъ, согласуется съ выводами Буссинека *), въ силу которыхъ, чѣмъ болѣе бытовой уклонъ, тѣмъ на сравнительно болѣе короткомъ протяженіи происходитъ явленіе перехода теченія изъ однихъ условій въ другія. Въ потокахъ стремниннаго характера распространеніе

*) Проф. Д. Бобылевъ. Очеркъ теоріи водяныхъ теченій, выработанной Буссинекомъ.

водной воронки, подпорной поверхности и воднаго бугра должно быть, въ согласіи съ теоріей Буссинека, сравнительно менѣе значительнымъ.

На основаніи изложеннаго полный подпоръ k зависитъ не только отъ отношенія $\frac{s}{Q}$, но также отъ бытовой скорости v_0 , бытового расхода Q и бытового уклона i той части водотока, которая перекрыта отверстіемъ. Отъ элементовъ v_0 и Q полный подпоръ k находится въ прямой зависимости.

Наконецъ, на величину k оказываютъ вліяніе мѣстныя особенности, каковы: гривки, острова и заросли, въ болѣе или меньшей степени препятствующія сливу водъ съ поймъ съ верховой стороны линіи и разливу водъ на поймы съ низовой стороны линіи, затѣмъ, лога, русла и резервы облегчающіе движеніе воды, наконецъ, оказываетъ также вліяніе расположеніе отверстія относительно пересѣкаемаго участка русла и всего пересѣченнаго воднаго пространства и относительно общаго направленія теченія потока. Полный подпоръ k образуется въ каждомъ частномъ случаѣ въ такихъ размѣрахъ, какіе необходимы для преодоленія добавочнаго сопротивленія движенію воды не только въ самомъ отверстіи, но также въ предѣлахъ воронки и бугра.

Въ результатъ вышеизложеннаго можно представить полный подпоръ k въ слѣдующей функціи:

$$k = f_3 \left(\gamma, v_0, Q, i, \frac{s}{Q} \right) \dots \dots \dots (32),$$

гдѣ Q , v_0 и i — бытовой расходъ, средняя бытовая скорость и бытовой уклонъ той части живаго сѣченія, которая перекрыта отверстіемъ;

S — бытовой расходъ всего водотока, и

γ — коэффициентъ, характеризующій расположеніе отверстія и мѣстныя особенности района воронки и бугра.

Въ функціональномъ выраженіи (32) можно было бы вмѣсто $\frac{s}{Q}$ поставить только S , такъ какъ Q уже введено; но представляется желательнымъ сохранить отношеніе $\frac{s}{Q}$ въ виду того, что оно является первопричиной всего явленія.

Зная, хотя въ неопредѣленныхъ функціяхъ, соотношеніе между главными элементами воронки и бугра, представляется возможнымъ выяснитъ факторы, вліяющіе на водопропускную способность отверстія.

Если опредѣлять величину подпора не для достиженія назначеннаго отношенія $\frac{S}{Q}$, а для выбора отверстія для пропуска опредѣленнаго расхода S , то на основаніи изложеннаго извѣстно, что чѣмъ бѣльшимъ бытовымъ расходомъ Q обладаетъ русло отверстія, тѣмъ меньше $\frac{S}{Q}$ и меньше получится подпоръ k ; вмѣстѣ съ тѣмъ извѣстно, что чѣмъ меньше бытовая скорость v_0 русла отверстія, тѣмъ при томъ же $\frac{S}{Q}$ потребуется меньшій подпоръ k . Итакъ, для пропуска черезъ отверстіе опредѣленнаго расхода S потребуется тѣмъ меньшій подпоръ k и тѣмъ, слѣдовательно, меньшее произойдетъ нарушеніе бытового режима водотока, чѣмъ бѣльшимъ Q и меньшимъ v_0 обладаетъ отверстіе, или чѣмъ больше отношеніе $\frac{Q}{v_0}$; а такъ какъ $\frac{Q}{v_0} = \omega$ равно бытовому живому сѣченію русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ, то слѣдуетъ заключить, что тѣмъ меньшій подпоръ k получится при пропускѣ расхода S , чѣмъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ бѣльшимъ бытовымъ расходомъ и бѣльшею бытовой площадью живаго сѣченія обладаетъ отверстіе. Это заключеніе указываетъ, что *въ интересахъ наименьшаго нарушенія бытового режима водотока отверстіе слѣдуетъ назначать на руслѣ, обладающемъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ возможно бѣльшимъ бытовымъ расходомъ Q и возможно бѣльшей площадью живаго сѣченія ω .*

Размѣръ подпора k образуемаго отверстіемъ при пропускѣ опредѣленнаго расхода S является показателемъ водопропускной способности отверстія; чѣмъ меньшій подпоръ k образуется при проходѣ опредѣленнаго расхода S , тѣмъ бѣльше водопропускная способность отверстія. Слѣдовательно, водопропускная способность отверстія опредѣляется при прочихъ равныхъ условіяхъ размѣромъ бытового расхода Q мостоваго русла и его бытовой площади живаго сѣченія.

Изъ изложеннаго понятна польза искусственной разработки мостоваго русла. Однако-жъ, слѣдуетъ замѣтить, что вліяніе раз-

работки зависятъ отъ длины ея; разработка тѣмъ болѣе дѣйствительна, чѣмъ на большую длину русла какъ въ верховую, такъ и въ низовую сторону она произведена, такъ какъ короткая разработка увеличиваетъ ω , но не увеличиваетъ Q ; длинная же разработка увеличиваетъ и Q ; а потому, при длинной разработкѣ вся разработанная площадь ω полностью и въ нормальныхъ условіяхъ принимаетъ участіе въ водопропускной работѣ отверстія.

Такимъ образомъ, искусственная разработка русла весьма полезна въ цѣляхъ увеличенія водопропускной способности отверстія; но она должна быть продолжена вверхъ и внизъ отъ отверстія, по возможности, на большую длину; однако-жъ, нѣтъ надобности съ разработкой превосходить протяженіе воронки и бугра.

Если принять во вниманіе, что по опытнымъ даннымъ Гидравлики при наклонномъ днѣ русла коэффициентъ расхода μ больше, то къ заключеніямъ объ искусственной разработкѣ слѣдуетъ присоединить, что разработку слѣдуетъ выводить съ правильнымъ уклономъ.

Путемъ развитія русла въ предѣлахъ воронки и бугра достигается уменьшеніе сопротивленія движенію воды, облегченные подходъ ея къ отверстию и сливъ ниже отверстія. Всякое стѣсненіе русла на протяженіи воронки и бугра, хотя бы мостовая часть русла оставалась не стѣсненной, можетъ вызвать уменьшеніе въ стѣсненіи отверстія бытового расхода Q и, слѣдовательно, ослабленіе водопропускной способности отверстія. Поэтому, необходимо слѣдить за состояніемъ участковъ русла выше и ниже отверстія, дабы предупредить ихъ засореніе; и кромѣ того являются умѣстными регуляціонныя работы въ руслѣ на протяженіи воронки и бугра, имѣющія цѣлью увеличеніе бытового расхода русла; къ разряду такихъ работъ относятся: углубленіе, расширеніе и спрямленіе участка русла на протяженіи воронки и бугра.

Точно также полезна въ цѣляхъ уменьшенія полного подпора передъ отверстіемъ и, слѣдовательно, въ цѣляхъ увеличенія водопропускной способности отверстія, разработка поймы въ предѣлахъ воронки и бугра, выражающаяся въ удаленіи гривовъ, острововъ и растительности, препятствующихъ движенію воды. Въ этихъ видахъ получаютъ при переходахъ черезъ водотоки важное значеніе резервы какъ съ верховой, такъ и съ низовой стороны.

Но для того, чтобы резервы не приносили вмѣсто пользы вреда, ихъ необходимо располагать по соотвѣтственному плану *).

Придавая важное значеніе искусственной разработкѣ русла, нельзя, однако-жъ, согласиться съ мнѣніемъ Kaven'a, что путемъ разработки можно достигнуть того, что подпоръ въ дѣйствительности ничѣмъ не обнаружится **). Разъ имѣетъ мѣсто стѣсненіе потока, разъ отношеніе $\frac{s}{Q} > 1$, подпоръ неизбеженъ, и путемъ искусственной разработки онъ можетъ быть только уменьшенъ.

Полный перепадъ, подъ вліяніемъ котораго происходитъ работа отверстія, опредѣляется, примѣнительно къ чер. 147, по формулѣ:

$$H = k + Li \dots \dots \dots (33),$$

а такъ какъ $L = \frac{k}{j}$, то:

$$H = k \left(1 + \frac{i}{j} \right) \dots \dots \dots (34).$$

Полный перепадъ,
Глубина воронки и
высота бугра.

Такимъ образомъ, полный перепадъ слѣдуетъ за полнымъ подпоромъ и среднее значеніе перепада опредѣляется среднимъ значеніемъ подпора и отношеніемъ бытоваго уклона къ среднему приращенію его въ предѣлахъ воронки и бугра.

Что касается глубины воронки и высоты бугра, то эти величины, какъ части полного перепада, находятся въ зависимости отъ значенія подпора k и бытовыхъ гидродинамическихъ элементовъ русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ: уклона i , скорости v_0 и расхода Q . Если назвать высоту бугра, представляющую собою приращеніе бытовой глубины въ выходномъ сѣченіи отверстія, черезъ Δa , то:

$$\Delta a = f(k, \gamma, v_0, Q, i),$$

а такъ какъ

$$k = f_3(\gamma, v_0, Q, i, \frac{s}{Q}),$$

то:

$$\Delta a = f_4(\gamma, v_0, Q, i, \frac{s}{Q}) \dots \dots \dots (35).$$

*) Вопросъ о расположеніи резервовъ на разливахъ водотоковъ разбирается въ гл. XV.

**) „Мосты“ Проф. Л. Ф. Николаи, стр. 181.

Однимъ изъ слѣдствій выясненія явленія водныхъ воронокъ является между прочимъ то, что *обычно предъявляемое требованіе предълагаго наименьшаго возвышенія мостовыхъ фермъ и подферменныхъ камней надъ подпорнымъ горизонтомъ—не правильно*, такъ какъ подпорный горизонтъ не подходитъ къ самому отверстию и въ отверстіи горизонтъ воды сравнительно болѣе низкій, хотя и превышаетъ соотвѣтственный бытовой горизонтъ.

Необходимость дальнѣйшихъ непосредственныхъ наблюденій для обращенія обнаруженныхъ зависимостей въ явныя функціи.

Выясненная зависимость между элементами, вліяющими на водопропускную работу отверстія, представлена на графикѣ 156 (Л. LXXII), на которомъ указано лишь въ какую сторону (въ сторону возрастанія или убыванія) измѣняются элементы въ разныхъ случаяхъ по сравненію съ случаемъ представленнымъ въ первой строкѣ; но не указаны размѣры измѣненія. Въ 4-ой строкѣ представленъ случай наиболѣе благоприятный для пропуска воды, именно, случай отверстія съ увеличеннымъ Q при уменьшенной скорости v_0 . Это отверстіе обладаетъ сравнительно наибольшей водопропускной способностью (*тах. ω при тах. Q*), подпоръ k получается наименьшій. Въ строкѣ 7-ой представленъ обратный случай наиболѣе неблагоприятный для пропуска воды, съ наибольшимъ подпоромъ k .

Если для цѣлаго ряда существующихъ одиночныхъ отверстій будутъ наблюденіями опредѣлены полные подпоры k , то сопоставляя ихъ съ соотвѣтственными бытовыми элементами v_0 , Q , i , S и производя наблюденія при каждомъ отверстіи нѣсколько разъ при разныхъ бытовыхъ горизонтахъ, можно будетъ выяснить видъ функціи (32) и установить предѣлы колебанія коэффиціента γ .

При рѣшеніи этой задачи, казалось-бы, можетъ быть примѣнена теорема Д. Бернулли для несовершенной жидкости, охватывающая полностью явленіе движенія воды; однако-жъ, нельзя упускать изъ виду, что теченіе въ предѣлахъ воронки и бугра происходитъ не параллельноструйное, а также что опредѣленіе работы тренія при движеніи воды сопряжено съ большими трудностями, такъ какъ движеніе воднаго потока вообще

совершается съ постоянными и рѣзкими измѣненіями и водоворотами, а въ данномъ случаѣ оно еще болѣе осложнено рѣшительнымъ перебоемъ линій тока. Кромѣ того, уравненіе Д. Бернулли даетъ зависимость между элементами лишь какой-либо одной линіи тока, между тѣмъ какъ среднее значеніе подпора, равно какъ и перепада, складывается по совокупности элементовъ всѣхъ линій тока, для чего необходимо знать состояніе и форму всего воднаго пространства на протяженіи воронки и бугра. Точно также, едва ли вполнѣ примѣнима въ данномъ случаѣ теорія теченій Буссинека, въ основаніе которой положено именно то рѣзко отличное отъ обстоятельствъ даннаго случая предположеніе, что схождение и расхожденіе линій теченій настолько слабо, что имъ можно пренебречь *). А потому, приходимъ къ заключенію, что къ скорѣйшему выясненію нампеченныхъ функций должны привести непосредственныя наблюденія элементовъ явленія на существующихъ переходахъ и послѣдующая синтетическая обработка данныхъ наблюденій. Послѣ выясненія вида функции (32), задаваясь для каждаго новаго случая одиночнымъ отверстіемъ и зная S , v_0 , Q , i и $\frac{S}{Q}$ можно будетъ точно опредѣлять полный ожидаемый подпоръ k , который создастся на водотокъ при назначенномъ отверстіи и который до настоящаго времени оставался неизвѣстнымъ **), хотя онъ имѣетъ важное практическое значеніе для выясненія предѣльнаго подтопа прибрежной мѣстности, а также необходимаго возвышенія и поперечнаго сѣченія полотна.

Выясненіе образованія полнаго подпора приводитъ къ тому заключенію, что въ отношеніи каждаго отверстія должны быть разбираемы два вопроса: во первыхъ, достаточность отверстія для пропуска воды съ точки зрѣнія устойчивости сооруженія, а во вторыхъ, допустимость полнаго подпора (не того, который

Объ опредѣленіи размѣровъ подтопа прибрежной мѣстности.

*) Д. Бобылевъ. Очеркъ теоріи водяныхъ теченій, выработанной Буссинекомъ.

**) Невѣрность обычно примѣняемой формулы: $h = \frac{u^2 - u_i^2}{2g}$ для расчета подпора и подтопа мѣстности выясняется въ гл. XII.

опредѣляется по обычной формулѣ), который долженъ образоваться подъ вліяніемъ сооруженія данного перехода. Не рѣдко могутъ быть случаи, и они дѣйствительно наблюдаются, когда отверстіе вполне достаточно для пропуска воды съ точки зрѣнія устойчивости и безопасности сооруженія, когда возлѣ самого отверстія разность горизонтовъ та, что принято называть подпоромъ, совершенно мала, но въ то же время создается значительный полный подпоръ и недопустимый подтопъ прибрежной мѣстности. Обыкновенно вслѣдствіе незнанія полного подпора такой подтопъ являлся до настоящаго времени неожиданностью; однако-жъ, онъ служилъ причиною не рѣдко крупныхъ и справедливыхъ претензій мѣстныхъ жителей. Однимъ изъ случаевъ сильнаго вліянія желѣзнодорожныхъ переходовъ черезъ водотоки на затопленіе жилыхъ пунктовъ, является напр. подтопъ г. Кременчуга *), гдѣ образовавшійся передъ полотномъ подпоръ не разъ разгонялъ воду по городу и причинялъ убытки населенію. О многочисленности претензій мѣстныхъ жителей на подтопы вслѣдствіе устроенныхъ переходовъ черезъ водотоки можно судить по тому, что только на одной сѣти Юго-Восточныхъ желѣзныхъ дорогъ къ 1 Января 1911 г. „подтопныхъ“ исковъ значилось 647.

Итакъ, для каждаго отверстія долженъ опредѣляться полный создаваемый имъ подпоръ и величина отверстій должна быть назначена не только по расчету устойчивости сооружений, но и по соображенію съ допустимымъ полнымъ подпоромъ.

Что касается способа опредѣленія размѣровъ подтопа, то онъ до сихъ поръ не установленъ, такъ какъ самое явленіе не было выяснено; и потому, при возникновеніи претензій на подтопъ, не имѣется обыкновенно достаточно обоснованныхъ данныхъ для вѣрнаго разрѣшенія вопроса. Изложенное выше разсмотрѣніе явленія водныхъ воронокъ даетъ возможность указать простой методъ достаточно для практики точнаго опредѣленія въ каждомъ случаѣ размѣровъ производимаго существующими сооружениями подтопа.

*) Извлечено изъ сообщенія Инж. В. В. Салова въ засѣданіи Инж. Совѣта 7 Сентября 1905 г. (журн. № 48).

Если произвести для данного момента времени, *точную* нивелировку водной поверхности вдоль берега выше полотна на длину превосходящую протяженіе подпора (далѣе точки *n*, чер. 158, Л. LXXII) и ниже полотна на длину превосходящую протяженіе воднаго бугра (далѣе точки *f*), иначе говоря, если произвести *точную* нивелировку водной поверхности вдоль берега на всемъ протяженіи, на которомъ можетъ быть уловлено вліяніе пересѣченія водотока, и изобразить эту водную поверхность графически въ соотвѣтственно искаженномъ масштабѣ, то соединяя на чертежѣ плавной линіей участки водной поверхности, находящіеся выше и ниже района вліянія пересѣченія водотока, можно будетъ съ нѣкоторымъ приближеніемъ установить для данного момента бытовую водную поверхность въ этомъ районѣ (на чертежѣ пунктирная линія) и, слѣдовательно, опредѣлить графически подпоръ λ возлѣ полотна и его распространеніе вдоль берега. Повторивъ то же наблюденіе для нѣсколькихъ дней при разныхъ горизонтахъ, можно выяснитъ закономерность измѣненія на данномъ водотокѣ подпора у берега въ зависимости отъ горизонта водъ и представить подпорную поверхность вдоль берега при иныхъ горизонтахъ, не далеко, однако, отходящихъ отъ наблюденныхъ.

Для каждаго берега разлива необходимо дѣлать самостоятельное опредѣленіе размѣра подтопа.

Если до постройки отверстія была выяснена зависимость между бытовыми горизонтами въ мѣстѣ перехода водотока и въ какомъ-либо пунктѣ удаленномъ отъ этого мѣста и находящемся внѣ предѣловъ вліянія перехода, то опредѣленіе бытоваго очертанія водной поверхности въ предѣлахъ этого вліянія для любого момента можетъ быть сдѣлано по установленной зависимости. Въ этомъ случаѣ опредѣленіе размѣра подтопа еще болѣе упрощается, такъ какъ не требуется даже нивелировки.

Что касается предварительнаго опредѣленія размѣровъ и распространенія подтопа береговъ, то таковое требуетъ знанія полнаго подпора и очертанія подпорной линіи; по этимъ даннымъ должна быть опредѣлена высота подпора въ точкѣ подхода подпорной линіи къ берегу. Зная эту исходную высоту, останется опредѣлить распространеніе подпора по одному изъ

существующихъ приѣмовъ: Рюльмана, или Поаре *). Исходной высотой подпора должна служить, какъ сказано выше, высота подъема воды въ точкѣ подхода подпорной линіи къ берегу, а не обязательно въ точкѣ входа линіи перехода въ разливъ, на томъ основаніи, что въ случаѣ обрѣзанной водной воронки подпорная водная поверхность вдоль берега не имѣетъ въ вертикальной плоскости правильнаго очертанія съ постепеннымъ подъемомъ до самой линіи перехода, а искажается выпуклымъ перегибомъ въ мѣстѣ подхода подпорной линіи къ берегу.

Вліяніе расположенія
отверстія на его водо-
пропускную способ-
ность. Значеніе фор-
мы воронки и бугра.

Въ цѣляхъ иллюстраціи и дальнѣйшаго изученія явленія прохода воды черезъ одиночное отверстіе составлены эскизы 160—163 (Л. LXXII и LXXIII), на которыхъ представлены разные случаи устройства одного отверстія на правильномъ каналѣ однообразной глубины съ однообразнымъ распредѣленіемъ бытовыхъ скоростей.

На чер. 161 показаны эскизно горизонталіи и изотакіи въ случаѣ устройства отверстія по срединѣ канала.

На чер. 162 представленъ тотъ же случай, но при уменьшеніи отверстія.

На чер. 163 эскизно показано искаженіе, которому подвергаются воронка и бугоръ въ случаѣ несимметричнаго расположенія отверстія.

Изъ сравненія этихъ чертежей между собою видно, что въ первомъ и во второмъ случаяхъ воронка и бугоръ должны быть симметричныя, въ третьемъ—несимметричныя. Слѣдовательно, *форма воронки и бугра зависитъ между прочимъ отъ расположенія отверстія*. Затѣмъ, хотя во всѣхъ представленныхъ случаяхъ расходъ S , бытовая скорость v_0 и бытовой уклонъ i —тождественны, такъ какъ имѣется въ виду одинъ и тотъ же каналъ, однако-жъ воронки и бугры получаются различныя. Во второмъ случаѣ (чер. 162) отверстіе и, слѣдовательно, площадь живаго сѣченія ω и бытовой расходъ Q уменьшены, т. е. отверстіе

*) О предѣлѣ распространенія подпора по Поаре, стр. 384 курса внутреннихъ водяныхъ сообщеній О. Г. Зброжека.

обладаетъ меньшей водопрпускной способностью, а потому отношеніе $\frac{S}{Q}$ возрасло и должно произойти увеличеніе подпора k и элементовъ j и L , нѣсколько смягченное уменьшеніемъ Q , т. е. уменьшеніемъ мощности русла отверстія. Сообразно съ этимъ на чер. 162 показано бѣльшее число горизонталей, чѣмъ на чер. 161. Принимая во вниманіе, что увеличеніе подпора связано съ увеличеніемъ добавочнаго уклона j , горизонталы на чер. 162 должны быть проведены гуще, чѣмъ на чер. 161.

Въ случаѣ изображенномъ на чер. 163 отверстіе оставлено того же размѣра, что и въ случаѣ чер. 161; слѣдовательно, въ обоихъ случаяхъ элементы: ω , Q , $\frac{S}{Q}$, v_0 и i одинаковы, мощность русла отверстія одинакова, и можно было бы ожидать, что и подпоръ k въ обоихъ случаяхъ будетъ одинаковый; но въ дѣйствительности водопрпускная способность отверстій и подпоръ k въ обоихъ случаяхъ должны быть различны, вслѣдствіе разной формы воронокъ и бугровъ. Въ случаѣ несимметричныхъ воронокъ и бугра работа отверстія затруднена, и отверстіе показанное на чер. 163 находится въ менѣе благоприятныхъ для пропуска воды условіяхъ, чѣмъ симметрично расположенное такое же отверстіе на чер. 161. Поэтому, для пропуска того же расхода S подпоръ k въ случаѣ несимметричнаго расположенія отверстія долженъ возрасти. Это заключеніе согласуется съ соображеніемъ о работѣ совершаемой водою для прохода черезъ отверстіе; въ случаѣ расположенія отверстія по срединѣ канала средній путь всей воды въ каналѣ при проходѣ черезъ отверстіе равенъ около $\frac{1}{4}$ ширины канала съ верховой стороны и столько же съ низовой; между тѣмъ какъ въ случаѣ расположенія отверстія сбоку канала средній путь всей воды при проходѣ черезъ отверстіе равенъ около $\frac{1}{2}$ ширины канала съ верховой стороны и столько же съ низовой; слѣдовательно, во второмъ случаѣ работа, совершаемая водою въ зависимости отъ длины пути, почти вдвое больше.

Такимъ образомъ, на водопрпускную способность отверстія *влияетъ форма воронки и бугра*. Чѣмъ центральнѣе относительно пересѣченнаго воднаго пространства расположено отверстіе (при однообразной глубинѣ), тѣмъ воронка и бугоръ симметричнѣе и тѣмъ водопрпускная способность отверстія выше.

Подобно вліянню симметричности расположенія отверстія относительно пересѣченнаго воднаго пространства, на водопропускную способность отверстія оказываетъ вліяніе также положеніе его относительно общаго направленія теченія и относительно верховаго и низоваго участковъ русла. Если отверстие поставлено косо (чер. 160) относительно общаго направленія теченія и относительно пересѣченнаго участка русла, то воронка и бугоръ получаютъ косые, создается дополнительное сопротивление движенію воды и полный подпоръ долженъ возрасти. Поэтому, *въ цѣляхъ увеличенія водопропускной способности отверстія надлежитъ располагать его, по возможности, нормально къ общему направленію бытоваго хода воды и къ направленію пересѣкаемаго участка русла.*

Слѣдовательно, водопропускная способность отверстія, находящаяся въ прямой зависимости отъ размѣровъ бытоваго живаго сѣченія въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ и отъ величины бытоваго расхода Q въ тѣхъ же предѣлахъ, вмѣстѣ съ тѣмъ зависитъ отъ расположенія отверстія относительно всего пересѣченнаго воднаго пространства и относительно направленія общаго теченія и пересѣкаемаго участка русла. Чѣмъ центральнѣе расположено отверстие относительно всего живаго сѣченія и чѣмъ нормальнѣе оно къ общему направленію теченія водотока и въ отношеніи пересѣкаемаго участка русла, тѣмъ водопропускная способность его выше.

Вліяніе мѣсторасположенія отверстія учитывается въ функціональномъ выраженіи (32) коэффициентомъ γ вмѣстѣ съ вліяніемъ мѣстныхъ особенностей.

Соотвѣтственно съ мѣстоположеніемъ отверстія на чер. 163 между верхнимъ и нижнимъ бѣфами на протяженіи воронки и бугра помѣщено большее число горизонталей, чѣмъ на чер. 161 и притомъ воронка и бугоръ показаны бѣльшаго развитія; кромѣ того, горизонталы на чер. 163 расположены гуще, чѣмъ на чер. 161 соотвѣтственно бѣльшему среднему уклону воронки и бугра. Несомнѣнно, и уровень воды въ отверстіи въ случаѣ чер. 163 нѣсколько выше, чѣмъ въ случаѣ чер. 161.

Далѣе, сравненіе чер. 161, 162 и 163 показываетъ, что наибольшая высота уровня воды возлѣ стѣнки или возлѣ полотна съ верховой стороны обуславливается формою воронки. При

значительномъ удаленіи береговъ разлива отъ отверстія, воронка получается болѣе полная; при маломъ же разстояніи отъ отверстія до береговъ разлива воронка получается обрѣзанная. *Чѣмъ полнѣе воронка, тѣмъ выше можетъ быть подпорный подъемъ воды у стѣнки или полотна.* Въ случаѣ полной воронки накопленіе подпора вдоль берега разлива идетъ постепенно до самаго полотна, какъ показано на чер. 147 (Л. LXX); при этомъ величина подпора у берега разлива возлѣ полотна превышаетъ подпоръ въ прочихъ точкахъ подпорной линіи. Въ случаѣ обрѣзанной воронки подпорная линія понижается при подходѣ къ полотну. Этотъ послѣдній случай представленъ на чер. 161, 162 и 163.

При разномъ удаленіи береговъ разлива отъ отверстія, иначе говоря, въ случаѣ несимметричной воронки, подпорный подъемъ водъ возлѣ линіи пересѣченія получается съ разныхъ сторонъ отверстія различный, больше со стороны болѣе удаленнаго берега. Таковъ случай изображенный на чер. 163, гдѣ подпорный подъемъ возлѣ линіи перехода больше у праваго берега.

Изъ изложеннаго ясно, что степень полноты воронки вліяетъ на величину полного подпора; а потому, степень полноты воронки, зависящая отъ отношенія длины отверстія къ ширинѣ потока, должна оказывать вліяніе на водопропускную способность отверстія; именно, *чѣмъ болѣе обрѣзана воронка, тѣмъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ проходъ черезъ отверстіе опредѣленнаго расхода вызываетъ болѣе подпоръ и водопропускная способность отверстія меньше.*

Водная поверхность съ низовой стороны линіи перехода черезъ потокъ, какъ уже извѣстно, имѣетъ обратную форму по сравненію съ верховой водной поверхностью; именно, уровень воды съ низовой стороны вдоль стѣнки или полотна постепенно понижается. Подобно воронкѣ низовой бугоръ можетъ быть полнымъ или обрѣзаннымъ; *чѣмъ полнѣе бугоръ, тѣмъ болѣе низкаго горизонта достигаетъ низовой уровень возлѣ полотна у берега разлива.* Въ случаѣ несимметричнаго бугра пониженіе низовой водной поверхности вдоль линіи перехода получается съ разныхъ сторонъ отверстія различное, больше со стороны болѣе удаленнаго берега.

Такъ какъ при болѣе полномъ бугрѣ разливъ воды, прошедшей отверстіе, совершается легче, то чѣмъ полнѣе бугоръ, тѣмъ водопропускная способность отверстія выше.

Такимъ образомъ, проходъ черезъ отверстіе опредѣленнаго расхода вызываетъ тѣмъ меньшій подпоръ и перепадъ, чѣмъ полнѣе при отверстіи образуются воронка и бугоръ. Въ той же зависимости находится и водопропускная способность отверстія. Это заключеніе указываетъ на то, что коэффициентъ γ зависитъ также отъ степени полноты воронки и бугра.

Заключеніе.

На основаніи изложеннаго можно сдѣлать слѣдующіе выводы, характеризующіе явленіе прохода воды черезъ одиночное отверстіе.

1) Характеръ водопропускной работы отверстія зависитъ отъ бытовыхъ гидродинамическихъ элементовъ всего потока и той его части, которая перекрыта отверстіемъ (мостовое русло), а также отъ мѣстоположенія и направленія отверстія. Характеристикой водопропускной работы отверстія и первопричиной всего явленія прохода водъ черезъ отверстіе является отношеніе $\frac{S}{Q}$, гдѣ S — полный расходъ въ отверстіи и Q — соотвѣтственный бытовой расходъ въ тѣхъ же предѣлахъ. Эту характеристику надо понимать какъ общую, такъ какъ въ различныхъ участкахъ одного и того же отверстія водопропускная работа имѣетъ нѣкоторое различіе, и чѣмъ длиннѣе отверстіе, тѣмъ это различіе можетъ быть больше.

2) Пропускъ дополнительнаго расхода воды въ отверстіи (разность $S-Q$) противъ соотвѣтственнаго бытового расхода въ тѣхъ же предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ, происходитъ подъ вліяніемъ добавочнаго уклона водъ, который создается полнымъ подпоромъ. Добавочный уклонъ есть величина переменная по ширинѣ и длинѣ водной воронки; онъ растетъ по мѣрѣ приближенія къ отверстію. Въ соотвѣтствіи съ этимъ скорости теченія вдоль линіи перехода съ верховой стороны также растутъ по мѣрѣ приближенія къ отверстію.

Добавочный уклонъ водъ въ предѣлахъ воднаго бугра уменьшается по мѣрѣ удаленія отъ отверстія. Соответственно съ этимъ скорости теченія водъ убываютъ по мѣрѣ удаленія отъ отверстія.

При неправильной формѣ воронокъ и бугровъ уклоны и скорости теченія по правымъ и лѣвымъ щекамъ ихъ различны.

Средній добавочный поверхностный уклонъ j на протяженіи воронки и бугра находится въ прямой зависимости отъ средняго значенія полного подпора k и въ обратной зависимости отъ мощности русла отверстія, и выражается функцией:

$$j = f_2 (\chi, Q, v_0, i, k) \dots \dots \dots (31).$$

3) Отверстіе съ болѣе мощнымъ русломъ труднѣе поддается вліянію подпора.

Мощность русла отверстія характеризуется и находится въ прямой зависимости отъ бытовыхъ элементовъ: средней бытовой скорости v_0 и бытового расхода Q и въ обратной зависимости отъ бытового уклона i :

$$P = f_1 (Q, v_0, i) \dots \dots \dots (30).$$

4) Передъ отверстіемъ, стѣсняющимъ хотя бы въ малой степени бытовой режимъ потока, всегда образуется воронкообразное пониженіе подпертой водной поверхности, а ниже отверстія бугоръ разливной воды. Водная соронка ограничивается подпорной линіей, проходящей поперекъ воднаго пространства по точкамъ наибольшаго подъема водъ противъ бытового горизонта. Конечныя точки подпорной линіи сливаются съ точками входа полотна въ разливы. Начиная отъ подпорной линіи воронка постепенно углубляется по мѣрѣ приближенія къ отверстию, гдѣ она достигаетъ наибольшей глубины. Щеки воронокъ выпуклы. На протяженіи водной воронки воды сливаются къ отверстию со всѣхъ сторонъ. Правильность вѣерообразнаго направленія слива нарушается мѣстными особенностями районовъ воронки и бугра.

Воронка передъ отверстіемъ можетъ быть полная, или обрѣзанная съ одной или съ обѣихъ сторонъ, въ зависимости отъ удаленія береговъ разлива отъ отверстія; чѣмъ берегъ удаленъ болѣе, тѣмъ воронка со стороны этого берега получается болѣе полная.

Въ той же зависимости находится и низовой бугоръ, который также можетъ быть полнымъ или обрызаннымъ. По своимъ размерамъ и характеру бугоръ слѣдуетъ за своей воронкой.

Размѣры и форма воронокъ и бугровъ оказываютъ рѣшительное вліяніе на все явленіе прохода водъ черезъ отверстія. Форма воронки и бугра въ каждомъ случаѣ искажается мѣстными особенностями, находящимися въ ихъ предѣлахъ; въ числѣ особенностей главное мѣсто занимаютъ съ одной стороны русла, лога и резервы, облегчающіе движеніе воды, по нимъ воды устремляются съ особой силой, и съ другой стороны затопляемые или мало заливаемые участки и заросли, затрудняющіе движеніе воды. Вліяніе заливаемыхъ препятствій движенію воды въ предѣлахъ воронки и бугра ослабляетъ по мѣрѣ подъема водъ и усиливается при спадѣ водъ.

При косомъ пересѣченіи потока воронка и бугоръ при отверстіи получаютъ косые, удлинненные по направленію бытового теченія.

По мѣрѣ подъема водъ глубина и распространеніе воронокъ растутъ и уклонъ ихъ щекъ увеличивается; при спадѣ водъ воронки становятся меньше замѣтными.

Точно также по мѣрѣ подъема водъ водные бугры растутъ въ высоту и въ длину и уклонъ ихъ щекъ увеличивается; при спадѣ водъ бугры уменьшаются и дѣятельность ихъ ослабляетъ.

При высокихъ водахъ водные воронки и бугры на потокахъ не стремниннаго характера достигаютъ значительнаго распространенія отъ отверстія вдоль водотока. На дельтѣ воронки были прослѣжены на длину до $1\frac{1}{2}$ версты. На потокахъ стремнинныхъ, къ каковымъ по теоріи Буссинека относятся потоки съ уклономъ > 0.0036 , т. е. лишь потоки горные и въ крутыхъ оврагахъ, распространеніе подпорной поверхности и водныхъ воронокъ и бугровъ должно быть сравнительно не велико.

5) Въ разныхъ точкахъ подпорной линіи величина подпора различна. Полнымъ подпоромъ, подъ вліяніемъ котораго проходитъ добавочный противъ бытового расходъ въ отверстіи, является не подъемъ водъ непосредственно передъ отверстіемъ, а нѣкоторая большая величина, удаленная отъ отверстія, которая представляетъ собою среднее возвышеніе подпорной линіи надъ соотвѣтственной линіей бытовой водной поверхности.

Размѣръ подпора получается въ каждомъ случаѣ въ соответствии съ добавочными сопротивленіями движенію воды не только въ самомъ отверстіи, но и въ предѣлахъ воронки и бугра, иначе говоря, въ соответствии съ бытовыми гидродинамическими элементами русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ и части всего потока охваченной воронкой и бугромъ.

Значеніе полного подпора k находится въ зависимости отъ отношенія $\frac{s}{Q}$ и отъ бытовыхъ элементовъ русла перекрытаго отверстіемъ: скорости v_0 , расхода Q и уклона i и опредѣляется функцией:

$$k = f_3 \left(\gamma, v_0, Q, i, \frac{s}{Q} \right) \dots \dots \dots (32),$$

гдѣ γ — коэффициентъ, характеризующій мѣстныя особенности въ районѣ водной воронки и бугра, и мѣсторасположеніе отверстія относительно всего пересѣченнаго воднаго пространства, относительно направленія общаго бытоваго теченія воды и относительно пересѣченнаго участка русла; кромѣ того, коэффициентъ γ учитываетъ степень полноты воронки и бугра.

Размѣръ подпора на существующихъ переходахъ можетъ быть для любого момента опредѣленъ путемъ точной нивелировки водной поверхности выше отверстія на пространствѣ водной воронки, и путемъ сопоставленія подпорной водной поверхности съ соответственной бытовой поверхностью.

6) Воронка и бугоръ опредѣляются тремя элементами: значеніемъ подпора k , среднимъ добавочнымъ уклономъ j и среднимъ протяженіемъ воронки и бугра L . Связь существующая между этими элементами выражается формулой:

$$j = \frac{k}{L} \dots \dots \dots (29).$$

Увеличеніе подпора k на данномъ водотока влечетъ за собою одновременное увеличеніе L и j и повышеніе уровня воды въ отверстіи.

На разныхъ водотокахъ одинаковый подпоръ не одинаково отстоитъ отъ отверстія: чѣмъ болѣе мощно русло отверстія, тѣмъ далѣе тотъ же подпоръ отстоитъ отъ отверстія и тѣмъ менѣе добавочный уклонъ онъ создаетъ. Поэтому, на разныхъ

водотокахъ при одинаковомъ подпорѣ k могутъ быть различныя длины L въ зависимости отъ мощности русла отверстія: при отверстіи съ болѣе мощнымъ русломъ при определенномъ k получается большее протяженіе L . На руслѣ, обладающемъ большимъ бытовымъ уклономъ, при подпорѣ определенной величины и при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ протяженіе L меньше. На потокахъ стремнинныхъ протяженіе L мало. Такимъ образомъ, среднее протяженіе L воронки и бугра находится въ прямой зависимости отъ подпора k и отъ мощности P русла отверстія:

$$L = f_5(k, P) \dots \dots \dots (36).$$

7) Полный перепадъ, подъ вліяніемъ котораго происходитъ водопропускная работа отверстія, слѣдуетъ за полнымъ подпоромъ и равенъ среднему возвышенію подпорной линіи надъ линіей подошвы низоваго воднаго бугра. Величина перепада сама по себѣ не можетъ характеризовать условій работы отверстія безъ связи съ протяженностью перепада L и съ бытовыми гидродинамическими элементами потока.

Полный перепадъ H определяется формулой:

$$H = k \left(1 + \frac{i}{j} \right) \dots \dots \dots (34).$$

Размѣръ перепада на существующихъ переходахъ можетъ быть для любого момента определенъ путемъ точной нивелировки водной поверхности выше и ниже отверстія на протяженіи воронки и бугра и сопоставленія ея съ соответственной бытовой поверхностью.

8) Глубина водной воронки и высота воднаго бугра, являющіеся составными частями полнаго перепада, находятся въ зависимости отъ значенія подпора k и отъ бытовыхъ гидродинамическихъ элементовъ русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ.

Высота бугра:

$$\Delta a = f_4\left(\gamma, v_0, Q, i, \frac{S}{Q}\right) \dots \dots \dots (35).$$

9) Среднимъ значеніемъ полнаго подпора k при данномъ расходѣ S характеризуется водопропускная способность отверстія: чѣмъ

меньше k при данном S , тѣмъ больше водопропускная способность отверстія. Водопропускная способность находится въ прямой зависимости отъ площади ω живаго сѣченія русла отверстія и отъ его бытового расхода Q . Поэтому, отверстіе надлежитъ располагать на руслѣ съ большимъ бытовымъ расходомъ и съ болѣею площадью живаго сѣченія, и поэтому же полезна искусственная разработка мостоваго русла. Искусственная разработка русла должна быть произведена съ правильнымъ уклономъ дна и должна быть продолжаема, по возможности, дальше отъ отверстія вверхъ и внизъ; однако-жъ внѣ предѣловъ водной воронки и бугра разработка не нужна. Откосы мостовыхъ руселъ должны быть возможно болѣе пологіе.

Въ интересахъ водопропускной способности отверстія полезны на протяженіи воронки и бугра регуляціонныя работы по углубленію, расширенію и спрямленію русла, необходимъ надзоръ для предупрежденія засоренія русла, а также полезны устраненіе бугровъ, гривокъ, зарослей въ районѣ воронки и бугра, открытіе резервовъ, и вообще работы по развитію гидравлическихъ свойствъ района охватываемаго воронкой и бугромъ.

Вмѣстѣ съ тѣмъ водопропускная способность отверстія зависитъ отъ расположенія его относительно всего пересѣченнаго воднаго пространства и относительно направленія русла водотока; чѣмъ центральнѣе относительно всего живаго сѣченія расположено отверстіе и чѣмъ оно нормальнѣе къ направленію общаго бытового хода воды и къ направленію пересѣченнаго участка русла, тѣмъ при прочихъ равныхъ условіяхъ его водопропускная способность выше. Подъ пересѣченнымъ участкомъ русла водотока разумѣется участокъ его, простирающійся выше и ниже отверстія на протяженіи воронки и бугра.

Этотъ пунктъ можетъ быть формулированъ иначе: чѣмъ болѣе симметричны, прямы, и полны образующіеся при отверстіи водная воронка и низовой бугоръ, тѣмъ при прочихъ равныхъ условіяхъ водопропускная способность отверстія выше; форма же воронки и бугра зависитъ, кромѣ мѣстныхъ особенностей, еще отъ расположенія отверстія относительно всего пересѣченнаго воднаго пространства и относительно направленія общаго теченія водъ и пересѣченнаго участка русла.

Итакъ, чѣмъ больше площадь живаго сѣченія русла отверстія, чѣмъ больше его бытовой расходъ, чѣмъ центральнѣе расположено отверстіе относительно всего живаго сѣченія потока, чѣмъ оно нормальнѣе къ направленію общаго бытоваго хода воды и къ пересѣченному участку русла, и наконецъ, чѣмъ болѣе благоприятными гидравлическими свойствами обладаетъ районъ воронки и бугра, тѣмъ больше водопропускная способность отверстія.

10) Подпорный подземъ водъ возлѣ полотна съ верховой стороны, постепенно увеличивается по мѣрѣ удаленія отъ отверстія, такъ какъ это есть щека воронки.

Чѣмъ полнѣе воронка, тѣмъ выше можетъ быть подпорный подземъ водъ у полотна. Въ случаѣ полной воронки величина подпора возлѣ полотна у берега разлива превышаетъ подпоръ въ прочихъ точкахъ подпорной линіи. Въ случаѣ обрѣзанной воронки подпорная линія понижается при подходѣ къ полотну и подпоръ возлѣ полотна можетъ быть меньшій, чѣмъ въ другихъ точкахъ подпорной линіи.

Въ случаѣ несимметричности воронки подпорный подземъ водъ возлѣ полотна получается съ разныхъ сторонъ отверстія различный: болѣе со стороны болѣе удаленнаго берега.

Уровень воды возлѣ полотна съ низовой стороны отверстія, постепенно понижаясь отъ него, достигаетъ въ наиболѣе удаленной отъ отверстія точкѣ у берега разлива горизонта тѣмъ болѣе низкаго, чѣмъ полнѣе бугоръ. Въ случаѣ несимметричности бугра пониженіе водной поверхности вдоль полотна получается съ разныхъ сторонъ отверстія различное, болѣе со стороны болѣе удаленнаго берега.

11) Разности горизонтовъ по обѣ стороны полотна растутъ по мѣрѣ удаленія отъ отверстія; онѣ искажаются мѣстными особенностями, нарушающими непрерывность линій тока, каковы гривки.

Разности горизонтовъ водъ по обѣ стороны полотна слѣдуютъ за горизонтомъ водъ, при подземѣ водъ онѣ растутъ, при спадѣ уменьшаются.

Наибольшая разность горизонтовъ по обѣ стороны полотна имѣетъ мѣсто въ пунктѣ наиболѣе удаленномъ отъ отверстія.

Эта разность даетъ понятіе, но не равна полному перепаду, подѣ влияніемъ котораго происходитъ водопропускная работа отверстія.

12) Размѣръ подтопа прибрежной мѣстности, производимаго существующимъ переходомъ черезъ водотокъ, можетъ быть определенъ точной нивелировкой водной поверхности вдоль берега на всемъ протяженіи, на которомъ нарушенъ бытовое режимъ и сравненіемъ этой поверхности съ соответственной бытовой водной поверхностью. Для каждаго берега разлива необходимо дѣлать самостоятельное опредѣленіе размѣра подтопа.

Предварительное опредѣленіе размѣровъ и распространенія подтопа береговъ требуетъ знанія подпора и очертанія подпорной линіи. Зная возвышеніе подпорной поверхности въ точкѣ подхода подпорной линіи къ берегу и принимая эту величину за исходную высоту, можно опредѣлить распространеніе подпорной поверхности по одному изъ существующихъ способовъ, напр., Rühlmann'a.

13) Такъ какъ горизонтъ воды въ отверстіи ниже подпорнаго горизонта, то обычно предъявляемое требованіе расчета возвышенія мостовыхъ фермъ и подферменныхъ камней надъ подпорнымъ горизонтомъ является не правильнымъ.

14) Наблюденія при отверстіяхъ для возможности полнаго изученія явленія, сопровождающаго проходъ воды въ отверстіи, не должны ограничиваться мостовымъ русломъ и водной полосой непосредственно примыкающей къ полотну, но должны охватывать всю площадь воднаго пространства выше и ниже отверстія, на коей нарушенъ бытовое режимъ. Это пространство должно быть разбито на рядъ живыхъ стѣній и въ каждомъ изъ нихъ должны быть наблюдены: очертаніе поверхности и горизонты водъ, глубины, скорости и направленіе теченія.

Изученіе прохода водъ черезъ отверстія только въ самыхъ отверстіяхъ и непосредственно возлѣ нихъ, какъ изученіе только части явленія, не можетъ привести къ исчерпывающимъ выводамъ.

15) Изъ изложеннаго выясняются практическіе выводы, которыми слѣдуетъ руководствоваться при устройствѣ оди н о ч н ы хъ

отверстій. Отверстія на водотокахъ должны быть назначаемы не только по расчету устойчивости сооруженія, но и по размѣрамъ допустимлю по мѣстнымъ условіямъ полнаго подпора. Переходъ черезъ водотокъ должно выбирать, по возможности, въ болѣе узкомъ мѣстѣ, какъ въ цѣляхъ укороченія длины полотна на разливѣ, такъ и въ цѣляхъ увеличенія водопропускной способности отверстія определенной длины, такъ какъ болѣе узкое сѣченіе является обычно и болѣе глубокимъ. Отверстіе должно быть располагаемо возможно ближе къ серединѣ потока, центрально относительно всего живаго сѣченія, должно перекрывать русло съ возможно болѣею площадью живаго сѣченія и болѣеимъ бытовымъ расходомъ, должно быть располагаемо возможно нормальнѣе къ направленію общаго бытоваго хода воды и къ пересѣкаемому участку русла; причѣмъ существенно важно, чтобы этотъ участокъ русла былъ прямолинейный, по возможности, на всемъ протяженіи воронки и бугра.

Если пересѣченіе водотока не удовлетворяетъ этимъ условіямъ, то умѣстны регуляціонныя работы въ участкѣ русла какъ съ верховой, такъ и съ низовой стороны для достиженія его прямолинейности и нормальности къ отверстию. Полезна искусственная разработка мостоваго русла съ правильнымъ уклономъ, выведенная полого вверхъ и внизъ отъ отверстія, и также полезны работы по расширенію и углубленію русла на всемъ протяженіи воронки и бугра. Равнымъ образомъ полезны въ цѣляхъ уменьшенія полнаго подпора открытіе резервовъ на поймѣ, и работы по удаленію препятствій движенію воды на поймѣ въ предѣлахъ воронки и бугра, именно, разработка гривокъ и острововъ и удаленіе зарослей съ верховой и съ низовой сторонъ. Однако-жъ, мѣста этихъ разработокъ и расположеніе резервовъ на поймѣ должны быть не случайныя, а согласованныя съ проектомъ струенаправляющихъ дамбъ съ такимъ соображеніемъ, чтобы избѣжать образованія новыхъ руселъ непосредственно вблизи полотна и струенаправляющихъ дамбъ, избѣжать образованія водоворотовъ въ мостовомъ руслѣ и не только не затруднить, а напротивъ облегчить работу струенаправляющихъ дамбъ.

В. Случай прохода водъ черезъ группу отверстій поставленныхъ на одномъ водномъ пространствѣ.

Выводы изслѣдованія явленія прохода водъ черезъ одиночное отверстіе въ значительной своей части приложимы къ общему случаю прохода водъ черезъ группу отверстій поставленныхъ на одномъ потокѣ. Во всякомъ случаѣ, сдѣланные выводы облегчаютъ изслѣдованіе общаго случая, который представляется осложненнымъ тѣмъ, что каждое отверстіе на общемъ водномъ пространствѣ работаетъ не самостоятельно, а водопропускная работа всѣхъ отверстій взаимно связана. Измѣненіе водопропускной способности одного отверстія влечетъ за собою измѣненіе сферы его вліянія какъ въ верхнемъ, такъ и въ нижнемъ бѣефѣ и соотвѣтственное измѣненіе водопропускной работы и сферъ вліянія прочихъ отверстій.

Взаимная зависимость отверстій группы. Вліяніе измѣненія водопропускной способности одного или нѣсколькихъ отверстій группы.

Вліяніе измѣненія водопропускной способности одного отверстія на его водопропускную работу и на работу прочихъ отверстій, поставленныхъ на общемъ водномъ пространствѣ, выясняется на основаніи вышеописанныхъ результатовъ наблюденій схематическими чертежами 164 и 165 (Л. LXXIII). На этихъ чертежахъ показана группа изъ трехъ отверстій. Линіей abc изображена въ искаженномъ масштабѣ водная поверхность вдоль стѣнки съ верховой стороны, пунктирной линіей $a_1b_1c_1$ изображена та же водная поверхность въ случаѣ увеличенія отверстія № 2. Чер. 164 составленъ въ томъ предположеніи, что съ увеличеніемъ одного отверстія общій расходъ трехъ изображенныхъ отверстій не измѣняется. Въ продольномъ разрѣзѣ по направленію перпендикулярному къ отверстиямъ линіи mn изображаетъ подпорную водную поверхность до увеличенія отверстія и pr — послѣ увеличенія отверстія; линіи ts изображаетъ поверхность воды на протяженіи воронки и бугра до увеличенія отверстія и линіи t_1s_1 — послѣ увеличенія отверстія. Точки b и t опредѣляютъ границы водныхъ воронокъ до увеличенія отвер-

стія и точки b_1 и t_1 —послѣ увеличенія отверстія. Горизонтъ нижняго бѣфа sl ниже водныхъ бугровъ остается неизмѣннымъ, такъ какъ разсматривается случай постоянства общаго расхода трехъ отверстій.

Чер. 164 указываетъ на слѣдующія послѣдствія измѣненія водопротускной способности одного изъ нѣсколькихъ отверстій поставленныхъ на одномъ потокѣ. Съ увеличеніемъ отверстія № 2 предѣлы вліянія его расширились, т. е. ширина водной воронки увеличилась за счетъ ширины воронокъ сосѣднихъ отверстій, именно, водораздѣлы bb перемѣстились въ b_1b_1 ; поэтому расходъ въ отверстіи № 2 увеличился, расходы же отверстій № 1 и № 3 уменьшились. Такимъ образомъ, въ противоположность одиночному отверстию *расходъ воды S_n , проходящей при данномъ горизонтѣ стоянія воды черезъ данное групповое отверстие, не есть величина вполне опредѣленная, а мѣняется сообразно съ измѣненіемъ водопротускной способности групповыхъ отверстій. Съ возрастаніемъ водопротускной способности групповаго отверстия расходъ черезъ него возрастаетъ, и въ то же время расходы черезъ прочія групповыя отверстия убываютъ.* Изложенное заключеніе даетъ первое указаніе на то, что расходы S_n черезъ групповыя отверстія должны распредѣляться соотвѣтственно ихъ водопротускной способности.

Вмѣстѣ съ тѣмъ въ разсматриваемомъ случаѣ благодаря увеличенію отверстія сумма бытовыхъ расходовъ ΣQ въ предѣлахъ перекрытыхъ всѣми отверстіями увеличилась, а такъ какъ общій расходъ ΣS всего водотока для даннаго момента остался неизмѣннымъ, то степень стѣсненія водотока уменьшилась, отношеніе $\frac{\Sigma S}{\Sigma Q}$ уменьшилось; поэтому, по аналогіи съ одиночными отверстіями, подпоры передъ отверстіями должны были уменьшиться, подпорный уровень m при этомъ понизился до pr , протяженіе въ длину воронокъ и бугровъ ts уменьшилось до t_1s_1 (при каждомъ групповомъ отверстіи величины ts и t_1s_1 разныя), глубины воронокъ уменьшились, уровень воды въ отверстіяхъ понизился и линія перепада ts пріобрѣла бѣльшую пологость и получила очертаніе t_1s_1 . Точно также бѣльшую пологость получила водная поверхность вдоль стѣнки съ верховой стороны. Такимъ образомъ, *увеличеніе водопротускной способ-*

ности одного или нѣсколькихъ отверстій въ группѣ вслѣдствіе увеличенія ихъ размѣра имѣетъ послѣдствіемъ для всѣхъ групповыхъ отверстій уменьшеніе подпора. При этомъ, въ согласіи съ заключеніями сдѣланными въ отношеніи одиночныхъ отверстій, можетъ произойти различное измѣненіе характера водопропускной работы отверстій группы. При тѣхъ отверстияхъ, измѣненія водопропускной способности которыхъ не произошло, съ уменьшеніемъ подпора должно произойти уменьшеніе въ длину протяженія L_n воронокъ и бугровъ и уменьшеніе добавочныхъ уклоновъ j_n . Это послѣднее обстоятельство должно имѣть послѣдствіемъ уменьшеніе приращенія скоростей теченія въ этихъ групповыхъ отверстияхъ и абсолютное уменьшеніе скорости теченія въ нихъ, т. е. ослабленіе ихъ водопропускной работы. При тѣхъ же отверстияхъ группы, въ которыхъ произошло увеличеніе водопропускной способности вслѣдствіе ли увеличенія размѣровъ отверстія, или вслѣдствіе размыва дна русла, измѣненіе характера водопропускной ихъ работы произойдетъ въ той или другой степени въ зависимости отъ того, въ какую сторону при этомъ измѣнилась мощность русла. Если мощность измѣнивагося русла отверстія возрасла, то хотя подпоръ уменьшился, но протяженіе L_n можетъ даже увеличиться, добавочный же уклонъ j_n при этомъ во всякомъ случаѣ уменьшится и приращеніе скорости въ отверстіи также уменьшится. Если мощность измѣнивагося русла отверстія уменьшилась, то съ уменьшеніемъ подпора протяженіе L_n должно уменьшиться, каковое обстоятельство можетъ замедлить уменьшеніе добавочнаго уклона j_n и приращенія скорости. Поэтому, при размывѣ живаго стѣненія даннаго групповаго отверстія не всегда наступаетъ столь же рѣшительное уменьшеніе скорости теченія въ отверстіи, какъ это имѣетъ мѣсто въ случаѣ одиночнаго отверстія. Степень абсолютнаго измѣненія скорости въ отверстіи зависитъ отъ совокупнаго вліянія двухъ факторовъ, именно, какъ при этомъ измѣнилась бытовая скорость въ предѣлахъ отверстія и насколько измѣнилось ея приращеніе. Рѣшительное уменьшеніе скорости въ отверстіи наступаетъ при слѣдующемъ сочетаніи элементовъ: если съ размывомъ русла бытовая мощность его увеличилась, то для рѣшительнаго уменьшенія скорости въ отверстіи требуется,

чтобы вліяніе возрастающей средней бытовой скорости въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ было побѣждено вліяніемъ уменьшенія добавочнаго уклона; если съ размывомъ русла мощность его убываетъ, то для рѣшительнаго уменьшенія скорости въ отверстіи требуется, чтобы вліяніе слабого уменьшенія добавочнаго уклона было усилено вліяніемъ уменьшающейся бытовой скорости.

Въ конечномъ результатѣ такое именно сочетаніе элементовъ должно наступить и размывъ неизбѣжно долженъ прекратиться.

Что касается отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$, то бытовые расходы Q_n въ увеличенныхъ отверстіяхъ группы во всякомъ случаѣ увеличились, а отношеніе $\frac{S_n}{Q_n}$ должно измѣниться въ обратной зависимости отъ измѣненія Q_n , т. е. должно уменьшиться, такъ какъ въ предѣлѣ съ увеличеніемъ каждаго групповаго отверстія отношеніе $\frac{S_n}{Q_n}$ стремится къ единицѣ. Для прочихъ групповыхъ отверстій, оставшихся безъ измѣненія, отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$ тоже должны уменьшиться, такъ какъ бытовые расходы Q_n — остались для нихъ неизмѣнными, а расходы S_n — уменьшились вслѣдствіе увеличенія расхода черезъ увеличенные отверстія. Наконецъ, какъ уже сказано, общее отношеніе $\frac{\sum S}{\sum Q}$ для всей группы съ увеличеніемъ одного или нѣсколькихъ отверстій также уменьшается.

Если разсматривать обратный случай, именно, уменьшеніе водопропускной способности какого-либо одного или нѣсколькихъ групповыхъ отверстій вслѣдствіе засоренія русла или по другимъ причинамъ, то при этомъ происходитъ обратное измѣненіе разсматриваемыхъ величинъ для измѣнивагося отверстія, именно: уменьшеніе Q_n , уменьшеніе S_n и увеличеніе отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$; это отношеніе можетъ возрасти до большой величины, такъ какъ въ предѣлѣ Q_n скорѣе приближается къ нулевому значенію, чѣмъ S_n . Для прочихъ групповыхъ отверстій, оставшихся безъ измѣненія при уменьшеніи даннаго отверстія, отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$ тоже должны возрасти, такъ какъ бытовые расходы Q_n остались для нихъ неизмѣнными, а расходы S_n увеличились вслѣдствіе уменьшенія расхода черезъ уменьшенное отверстіе.

Такимъ образомъ, отношеніе $\frac{S_n}{Q_n}$ для каждаго групповаго отверстія при данномъ бытовомъ горизонтѣ водъ мѣняется въ обратной зависимости отъ измѣненія общей водопропускной способности отверстій группы.

Затѣмъ, при уменьшеніи водопропускной способности одного или нѣсколькихъ групповыхъ отверстій вмѣстѣ съ возрастаніемъ при каждомъ отверстіи отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$ должно произойти возрастаніе подпора и увеличеніе скорости во всѣхъ отверстіяхъ.

Согласно съ изложеннымъ, при измѣненіи водопропускной способности одного или нѣсколькихъ групповыхъ отверстій въ ту или другую сторону (напр. при размывѣ или загроможденіи), измѣненіе добавочнаго уклона j_n и приращенія скорости во всѣхъ отверстіяхъ происходитъ въ сторону обратную измѣненію водопропускной способности; но степень измѣненія находится въ зависимости отъ происшедшей въ то же время переменны бытовой мощности руселъ отверстій. Точно также и дѣйствительная скорость въ отверстіяхъ, которая складывается изъ бытовой скорости въ тѣхъ же предѣлахъ и изъ приращенія ея подъ вліяніемъ добавочнаго уклона, измѣняется въ сторону обратную измѣненію водопропускной способности.

На чер. 165 изображено вліяніе измѣненія водопропускной способности одного отверстія на его работу и на работу прочихъ групповыхъ отверстій въ случаѣ переменнаго общаго расхода разсматриваемыхъ отверстій при постоянствѣ соотвѣтственнаго бытоваго расхода. Этотъ именно случай имѣетъ мѣсто на дельтовомъ участкѣ, такъ какъ расходъ извѣстной части дельты можетъ измѣняться за счетъ расхода другихъ частей. Изъ чер. 165 видно, что вліяніе увеличенія отверстія № 2 тождественно съ случаемъ, изображеннымъ на чер. 164 съ той лишь разницей, что горизонтъ воды нижняго бьефа не остается неизмѣннымъ, а поднимается соотвѣтственно съ увеличеніемъ общаго расхода отверстій и понижается въ случаѣ уменьшенія общаго расхода отверстій. При этомъ, съ уменьшеніемъ подпора при увеличеніи отверстія уровень воды въ отверстіяхъ не только можетъ не понизиться, какъ въ случаѣ чер. 164, но даже можетъ подняться.

Общая подпорная поверхность; общий подпоръ и частные подпоры; частные воронки и бугры. Различный характеръ водопропускной работы отверстій группы.

Выясненіе вліянiя измѣненiя водопропускной способности одного или нѣсколькихъ групповыхъ отверстій на водопропускную работу всей группы подтверждаетъ, что *все отверстiя одной группы въ отношенiи водопропускной работы взаимно между собою связаны.*

Объединенiемъ групповыхъ отверстій служитъ общая подпорная поверхность, которая устанавливается въ результатъ стѣсненiя потока. Но, при этомъ каждое групповое отверстiе имѣетъ свою воронку и свой бугоръ, элементы которыхъ и въ томъ числѣ ихъ протяженіе, подпоръ и добавочный уклонъ въ каждый моментъ, несомнѣнно, должны находиться между собою въ томъ закономерномъ соотношенiи, какъ если бы это отверстiе было одиночнымъ. Поэтому, частный подпоръ предъ даннымъ групповымъ отверстiемъ опредѣляется функціей тождественною съ выраженiемъ (32):

$$k_n = f_3 \left(\gamma_n, v_n, Q_n, i_n, \frac{S_n}{Q_n} \right) \dots \dots \dots (32')$$

и добавочный уклонъ j_n при данномъ отверстiи въ группѣ опредѣляется, подобно случаю одиночнаго отверстiя, функціей тождественною съ выраженiемъ (31):

$$j_n = f_2 \left(\gamma_n, Q_n, v_n, i_n, k_n \right) \dots \dots \dots (31').$$

Иначе говоря, *характеръ водопропускной работы каждого отверстiя въ группѣ устанавливается въ соответствии съ его бытовыми гидравлическими элементами.*

Въ выраженiяхъ (31') и (32') коэффициентъ γ_n , подобно случаю одиночнаго отверстiя, выражаетъ вліянiе мѣстныхъ особенностей района воронки и бугра и расположенiя даннаго отверстiя относительно пересѣченнаго участка его русла и относительно общаго направленiя бытоваго теченiя водъ; но, кромѣ того, этотъ коэффициентъ долженъ учесть еще взаимное расположеніе и мощность сосѣднихъ отверстій, какъ это видно изъ дальнѣйшаго.

Принимая во вниманіе, что русла групповыхъ отверстій, вообще говоря, обладаютъ различною степенью мощности и учитывая то свойство мощности руселъ, что одинаковый под-

поръ отстоятъ при разныхъ отверстіяхъ на различныхъ отъ нихъ разстояніяхъ въ прямой зависимости отъ мощности русель, слѣдуетъ заключить, что при групповыхъ отверстіяхъ, работающихъ подъ вліяніемъ общей подпорной поверхности, должны получаться, вообще говоря, разные частные подпоры соотвѣтственно разной мощности русель отверстій. Но при данной подпорной поверхности можетъ быть для каждаго отверстія только одно сочетаніе подпора съ соотвѣтственнымъ добавочнымъ уклономъ. Эти заключенія иллюстрируются чер. 167 (Л. LXXIV), на которомъ совмѣщены воронки и бугры 3-хъ групповыхъ отверстій; подпоръ k_1 , добавочный уклонъ j_1 и протяженіе L_1 относятся къ отверстию съ менѣе мощнымъ русломъ, подпоръ k_3 , добавочный уклонъ j_3 и протяженіе L_3 — къ отверстию съ болѣе мощнымъ русломъ. Итакъ, групповыя отверстія, находясь подъ дѣйствіемъ объединяющей ихъ работу общей подпорной поверхности, имѣютъ каждое свою воронку и свой бугоръ съ различными частными подпорами, среднія величины которыхъ k_n , а равно добавочные уклоны j_n устанавливаются въ обратномъ соотношеніи съ мощностью русель отверстій; протяженія же L_n воронокъ и бугровъ устанавливаются въ прямомъ соотношеніи съ мощностью русель отверстій. Подтвержденіе этого заключенія результатами наблюденій приведено въ гл. XII, въ статьѣ о тиховодныхъ перепадахъ.

Благодаря разнымъ добавочнымъ уклонамъ j_n и разнымъ протяженіямъ воронокъ передъ групповыми отверстіями, подпорная линія, т. е. линія ограничивающая общую подпорную водную поверхность передъ групповыми отверстіями и проходящая по точкамъ наибольшаго подпора, представляетъ собою извилистую линію разнo удаленную отъ отверстій и подходящую ближе къ тѣмъ отверстіямъ, мощность русель которыхъ меньше. Возвышеніе подпорной линіи надъ бытовой водной поверхностью различно въ разныхъ точкахъ; причемъ благодаря разной удаленности подпорной линіи отъ отверстій группы, возвышеніе ея надъ бытовой поверхностью колеблется по длинѣ линіи въ обѣ стороны. Среднее возвышеніе подпорной линіи, подобно случаю одиночнаго отверстія, опредѣляетъ собою величину общаго подпора, созданнаго пересѣченіемъ потока.

Исходя изъ изложеннаго и принимая во вниманіе, что въ прямой зависимости отъ j_n находится приращеніе скорости въ отверстіи, слѣдуетъ заключить, что приращеніе скорости w устанавливается въ групповыхъ отверстіяхъ въ обратной зависимости отъ мощности ихъ руселъ; поэтому, и обусловливаемая приращеніемъ скорости *отношенія* $\frac{S_n}{Q_n}$ *устанавливаются въ групповыхъ отверстіяхъ въ обратномъ соотношеніи съ мощностью ихъ руселъ*. Дѣйствительно:

$$\frac{S_n}{Q_n} \propto \frac{u_n \omega_n}{v_n \omega_n} = \frac{u_n}{v_n} = \frac{\sqrt{w_n^2 + v_n^2}}{v_n} = \sqrt{\frac{w_n^2}{v_n^2} + 1} \dots (37).$$

Изъ выраженія (37) видно, что отношеніе $\frac{S_n}{Q_n}$ находится въ обратной зависимости отъ v_n , и въ прямой зависимости отъ w_n , а такъ какъ w_n находится въ обратной зависимости отъ мощности русла, то отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$ находятся въ обратномъ соотношеніи съ мощностью руселъ.

Отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$, *подобно случаю одиночнаго отверстія, являются характеристикой водопропускной работы групповыхъ отверстій.*

Кромѣ вышеперечисленныхъ факторовъ, устанавливающихъ различный характеръ водопропускной работы отверстій одной группы, вліяніе на частные подпоры и воронки оказываетъ еще вѣтеръ, а также мѣстные особенности, создающія сопротивленіе движенію и распредѣленію водъ, каковы: заросли, острова, малозатопляемые участки, гривки и проч., или создающія облегченіе движенію воды, каковы: лога, русла, резервы. Въ частныхъ случаяхъ мѣстные особенности могутъ выражаться настолько сильно, что благодаря имъ общее водное пространство расчленяется перепадами на отдѣльные бассейны, и въ этомъ случаѣ отверстія, хотя и находятся на общемъ водномъ пространствѣ, но разбиваются на отдѣльныя группы. Такъ именно раздѣленъ гривками на 4 болѣе или менѣе обособленныхъ бассейна дельтовый участокъ въ районѣ, пересѣченномъ желѣзной дорогой.

Среди мѣстныхъ особенностей, вліяющихъ на распредѣленіе подпоровъ, добавочныхъ уклоновъ и отношеній $\frac{S_n}{Q_n}$ въ отверстіяхъ одной группы, занимаетъ видное мѣсто косина пересѣченія потока. Какъ видно изъ результатовъ наблюденій, изложенныхъ въ началѣ

настоящей главы, *въ случаѣ косога пересѣченія подпоръ нарастаетъ при отверстіяхъ расположенныхъ ниже по теченію, а вмѣстѣ съ подпоромъ нарастаютъ добавочный уклонъ, приращеніе скорости и отношеніе $\frac{S_n}{Q_n}$* . Вліяніе косога пересѣченія водотока на распре-
дѣленіе частныхъ подпоровъ показано на чер. 168 (Л. LXXIV),
гдѣ схематически изображены на одномъ водотокѣ два одина-
ковыхъ отверстія съ руслами равной мощности; подпоръ передъ
верхнимъ отверстіемъ благодаря косинѣ пересѣченія получается
меньшій, чѣмъ передъ ниже по теченію расположеннымъ отвер-
стіемъ и подпорная линія ближе отстоятъ отъ верхняго отверстія,
чѣмъ отъ нижняго; слѣдовательно, косое пересѣченіе водотока
ослабляетъ водопропускную работу верхняго отверстія и увели-
чиваетъ ее въ нижнемъ отверстіи. Въ общемъ случаѣ распо-
ложенія на косомъ пересѣченіи водотока нѣсколькихъ отверстій
подпорная поверхность постепенно нарастаетъ отъ верхняго
конца линіи пересѣченія къ нижнему. Вліяніе косины пере-
сѣченія учитывается въ приводимыхъ функціяхъ коэффиціен-
тами γ .

Относительно уровня воды въ групповыхъ отверстіяхъ на Уровень воды въ груп-
повыхъ отверстіяхъ.
основаніи предыдущаго можно заключить, что *онъ различенъ въ
разныхъ отверстіяхъ одной группы и находится между соответ-
ственнымъ бытовымъ горизонтомъ и горизонтомъ подпорной линіи
противъ даннаго отверстія*. Различіе горизонтовъ въ отверстіяхъ
устанавливается въ соотвѣтствіи съ различною степенью мощ-
ности мостовыхъ руселъ, различнымъ расположеніемъ отверстій
и различными частными подпорами.

На дельтовомъ участкѣ при незначительномъ вообще возвы-
шеніи подпорной линіи надъ бытовымъ горизонтомъ уровень
воды въ отверстіяхъ не могъ отличаться отъ бытоваго сколько-
нибудь чувствительно, тѣмъ болѣе, что вслѣдствіе направленія
въ Кор. Волгу добавочнаго расхода общій уровень водъ ниже
желѣзнодорожной линіи былъ пониженъ противъ бытоваго; на
этомъ основаніи въ изслѣдованіяхъ результатовъ наблюденій
1908 г. уровень воды въ отверстіяхъ на дельтѣ принять почти
совпадающимъ съ бытовымъ уровнемъ.

Распределение обща-
го расхода потока
между групповыми
отверстіями.

Выше было сдѣлано заключеніе, что расходы S_n въ групповыхъ отверстіяхъ распределяются соотвѣтственно ихъ водопрпускной способности. Это заключеніе находитъ еще подтвержденіе въ слѣдующемъ. Если разсматривать два групповыхъ отверстія съ одинаковыми бытовыми расходами Q , но съ различными бытовыми скоростями v_1 и v_2 , то отверстіе съ меньшею скоростью v_1 обладаетъ бѣльшею площадью живаго сѣченія и при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ оно обладаетъ бѣльшею водопрпускною способностью. Руcло этого отверстія является вмѣстѣ съ тѣмъ менѣе мощнымъ и потому въ силу вышеизложеннаго отношеніе $\frac{S_1}{Q}$ должно быть бѣлье отношенія $\frac{S_2}{Q}$:

$$\frac{S_1}{Q} > \frac{S_2}{Q},$$

слѣдовательно, $S_1 > S_2$, т. е. групповое отверстіе обладающее бѣльшей водопрпускной способностью, пропускаетъ и бѣльшій расходъ.

Если разсматривать два групповыхъ отверстія съ одинаковыми скоростями v , но съ различными расходами Q_1 и Q_2 , то отверстіе съ бѣльшимъ расходомъ Q_1 обладаетъ бѣльшею площадью живаго сѣченія ω_1 и, слѣдовательно, при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ оно обладаетъ бѣльшей водопрпускной способностью. Такъ какъ второе отверстіе съ меньшимъ Q_2 благодаря одинаковой скорости v составляетъ лишь часть перваго отверстія, то очевидно, что при одинаковомъ расположеніи отверстій расходъ S_2 пропускаемый вторымъ отверстіемъ меньше расхода S_1 пропускаемаго первымъ отверстіемъ: $S_1 > S_2$. Такимъ образомъ и въ этомъ случаѣ групповое отверстіе, обладающее бѣльшей водопрпускной способностью пропускаетъ и бѣльшій расходъ. Итакъ, подтверждается сдѣланное уже заключеніе, что *общій расходъ водотока ΣS распределяется между групповыми отверстіями соотвѣтственно ихъ водопрпускной способности.*

Сдѣланныя для групповыхъ отверстій заключенія находятъ подтвержденіе въ результатахъ наблюденій 1908 г., по которымъ, какъ видно изъ вѣд. 56, при отверстіяхъ на дельтѣ съ малыми бытовыми скоростями $v_n = 0.04$ до $0.18 \frac{\text{сан.}}{\text{сек.}}$ и съ малыми быто-

выми расходами $Q_n = 3.0$ до 18.8 куб. саж., т. е. при отверстиях съ руслами малой мощности отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$ колеблются отъ 14.4 до 3.5; а при отверстияхъ съ большими бытовыми скоростями $v_n = 0.25$ до $0.64 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ и съ большими бытовыми

ВѢДОМОСТЬ 56.

Выборка изъ вѣд. 67 величинъ отношеній $\frac{S_n}{Q_n}$ и расходовъ S_n въ дельтовыхъ отверстияхъ, расположенныхъ въ порядкѣ нарастанія мощности ихъ русель.

№ по порядку.	НАЗВАНІЕ ВОДОТОКОВЪ.	Q_n	v_n	ω_n	u_n	$\frac{S_n}{Q_n}$	S_n
		куб.саж.	саж./сек.	кв. саж.	саж./сек.		куб.саж.
1	ер. Проточный . . .	3.0	0.04	67.8	0.640	14.37	43.1
2	» Утюпкинъ	3.4	0.04	89.5	0.465	12.27	41.8
3	» Банный.	3.8	0.04	91.9	0.549	13.18	50.0
4	» Безымянный . . .	4.1	0.07	56.8	0.508	6.98	28.6
5	» Угланъ	4.6	0.08	61.4	0.510	6.76	31.1
6	» Болтайка	5.8	0.09	65.0	0.719	7.91	45.9
7	» Узк. Есаулъ. . . .	11.1	0.18	61.3	0.618	3.50	38.8
8	» Гнилуша	18.8	0.18	105.7	0.758	4.34	81.7
9	р. Рыча	36.3	0.25	142.3	0.287	1.52	55.0
10	» Крив. Бузь	38.6	0.24	160.5	0.499	2.26	87.2
11	Отводъ 3-хъ ериковъ .	50.0	0.29	173.2	0.353	1.59	79.4
12	р. Ахтуба	310.0	0.48	644.0	0.319	1.16	360.7
13	» Богда	489.0	0.41	1213.4	0.240	1.17	572.5
14	» Бузанъ	1461.0	0.64	2280.0	0.306	1.10	1609.4

расходами $Q_n = 36.3$ до 1461 куб. саж., т. е. при отверстиях съ руслами болѣе мощными, отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$ равны отъ 2.3 до 1.1; причемъ, какъ видно изъ вѣдомости, отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$ слѣдуютъ съ небольшими колебаніями въ обратномъ порядкѣ за мощностью руселъ отверстій. Изъ той же вѣдомости усматривается, что расходы S_n , пропускаемые дельтовыми отверстиями при самыхъ высокихъ водахъ и находящіеся въ предѣлахъ 28.6—1609.4 куб. саж., располагаются съ нѣкоторыми колебаніями въ послѣдовательномъ порядкѣ водопропускной способности отверстій. (Наименьшая площадь живаго сѣченія русла ω_4 равна 56.8 кв. саж. при бытовомъ расходѣ $Q_4 = 4.1$ куб. саж.; наибольшая площадь $\omega_{14} = 2280$ кв. саж. при $Q_{14} = 1461$ куб. саж.).

По поводу замѣчаемыхъ колебаній въ порядкѣ расположенія отношеній $\frac{S_n}{Q_n}$ и расходовъ S_n слѣдуетъ замѣтить, что кромѣ вліянія неточности наблюдений, колебанія зависятъ еще отъ нѣкоторой разницы въ уклонахъ руселъ, отъ разной степени постепенности вывода искусственной разработки руселъ, отъ разныхъ условій расположенія отверстій, а главнымъ образомъ отъ того, что во время наблюдений всѣ 14 отверстій не находились подъ вліяніемъ одной подпорной поверхности, такъ какъ все водное пространство, пересѣченное желѣзнодорожной линіей, какъ уже сказано, разбивалось возвышенными гривками, строго говоря, на 4 бассейна, въ бѣльшей или меньшей степени обособленныхъ; поэтому, полной закономерной связи между всѣми отверстиями не могло быть, такъ какъ они разбивались на нѣсколько болѣе или менѣе обособленныхъ группъ. Кромѣ того, на колебаніе въ порядкѣ расположенія элементовъ вѣдомости 56 оказала существенное вліяніе косина пересѣченія потока.

Выясненныя выше соотношенія между элементами, опредѣляющими водопропускную работу групповыхъ отверстій, представлены графически на чер. 157 (Л. LXXII), на которомъ представлены соотношенія элементовъ для 8 групповыхъ отверстій. Изъ этого графика видно, что для отверстій №№ 2, 4 и 5, въ виду меньшей мощности ихъ руселъ, получаютъ бѣльшія значенія $\frac{S_n}{Q_n}$, k_n и j_n и меньшія значенія L_n . Для отверстій №№ 3

и 7, обладающих болѣе мощными руслами, имѣетъ мѣсто обратное явленіе, именно уменьшенныя значенія $\frac{S_n}{Q_n}$, k_n и j_n и увеличенное значеніе L_n . Отверстіе № 5 представлено наименѣе мощнымъ; сообразно съ этимъ проходъ воды черезъ него происходитъ наиболѣе энергично, съ наибольшими $\frac{S_5}{Q_5}$, k_5 и j_5 . Отверстіе № 7 представлено наиболѣе мощнымъ и потому проходъ воды черезъ него происходитъ съ наименьшимъ нарушеніемъ бытового режима, съ наименьшими $\frac{S_7}{Q_7}$, k_7 и j_7 . По водопропускной способности наиболѣе слабо отверстие № 2, такъ какъ ω_2 имѣетъ наименьшее значеніе при маломъ Q_2 ; поэтому, пропускаемый этимъ отверстиемъ расходъ S_2 —наименьшій. Наибольшей водопропускной способностью обладаетъ отверстие № 6, сообразно съ чѣмъ расходъ S_6 —наибольшій.

Выше было выяснено, что общій подпоръ, созданный пересѣченіемъ водотока, есть среднее возвышеніе подпорной линіи надъ бытовой водной поверхностью.

Объ опредѣленіи общаго и частныхъ подпоровъ.

Подобно случаю одиночнаго отверстія, величина общаго подпора K при групповыхъ отверстіяхъ образуется въ зависимости, во-первыхъ, отъ степени общаго стѣсненія всего потока, т. е. отъ отношенія $\frac{\sum S}{\sum Q}$, затѣмъ отъ бытового расхода $\sum Q$, отъ средней бытовой скорости v_x въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіями отъ средняго уклона i_x потока, и наконецъ, отъ расположенія отверстій и отъ мѣстныхъ особенностей.

Поэтому, подобно одиночному отверстию, общій подпоръ K для группы отверстій опредѣляется функцией:

$$K = f_6 \left(\gamma_x, \sum Q, v_x, i_x \frac{\sum S}{\sum Q} \right) \dots \dots \dots (38),$$

гдѣ γ_x —коэффициентъ характеризующій мѣстныя особенности, а также характеризующій расположеніе отверстій относительно воднаго пространства и направленія линіи перехода относительно общаго теченія потока и относительно пересѣченныхъ участковъ руселъ.

Видъ функции (38) можетъ опредѣлиться въ результатѣ ряда наблюденій надъ групповыми отверстіями и тогда для *каждаго*

водотока при назначеніи на немъ опредѣленной группы отверстій окажется возможнымъ опредѣлять заранее величину общаго подпора K , который образуется благодаря сгущенію водотока и который объединяетъ работу всѣхъ отверстій въ группѣ.

Частные подпоры k_n передъ групповыми отверстиями отличаются въ обѣ стороны отъ общаго подпора K соответственно бытовымъ гидродинамическимъ элементамъ ихъ руселъ; причемъ при отверстіяхъ съ руслами болѣе мощными частные подпоры получаютъ менѣе общаго подпора, а при отверстіяхъ съ руслами менѣе мощными частные подпоры получаютъ болѣе общаго подпора. Поэтому частные подпоры k_n могутъ быть выражены функціей:

$$k_n = f_7 (K, \gamma_\Sigma, v_\Sigma, \Sigma Q, i_\Sigma, \gamma_n, v_n, Q_n, i_n) \dots (39),$$

гдѣ элементы со значкомъ Σ относятся ко всей группѣ, а со значкомъ n къ данному групповому отверстию.

Въ то же время, какъ уже изложено выше, частный подпоръ k_n передъ даннымъ групповымъ отверстиемъ опредѣляется функциональной зависимостью (32').

Когда въ результатъ ряда наблюдений надъ существующими сооружениями будутъ опредѣлены виды функцій (32'), (38) и (39), тогда въ каждомъ частномъ случаѣ для проектируемой группы отверстій на любомъ водотоки можно будетъ съ достаточнымъ приближеніемъ вычислять общій подпоръ K и находящіеся отъ него въ зависимости (39) частные подпоры k_n для каждого отверстія; а зная k_n , можно будетъ по функциональной зависимости (32') опредѣлить отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$ и, наконецъ, расходы S_n для каждого отверстія, т. е. распределить воды между отверстиями и знать подпоры и скорости для всѣхъ отверстій въ группѣ. Эта задача будущаго, быть можетъ близкаго будущаго; однако-жь и нынѣ уже имѣется возможность назначать групповыя отверстия съ обеспеченной устойчивостью сооружений, какъ это выясняется въ главѣ X.

Изученіе явленія прохода водъ черезъ группу отверстій поставленныхъ на общемъ водномъ пространствѣ можетъ быть завершено лишь въ результатѣ дальнѣйшихъ непосредственныхъ наблюдений; но нѣкоторое развитіе изученіе явленія можетъ получить нынѣ благодаря составленію эскизныхъ чертежей воронокъ и бугровъ въ соотвѣтствіи съ полученными результатами наблюдений и съ сдѣланными выше выводами. Такихъ чертежей составлено четыре: 166, 170, 171 и 172 (Л. LXXIV — LXXVI).

Водораспределительныя линіи между воронками и буграми втораго порядка. Сліяніе воронокъ и бугровъ между собою и объединеніе ихъ общей воронкой и общимъ бугромъ. Горизонты водораздѣловъ между воронками и ложбинъ между буграми.

На рис. 166 представлено общее изображеніе явленія прохода водъ черезъ группу отверстій на одномъ водотокѣ *въ случаѣ косаго его пересѣченія*, благодаря чему воронки и бугры при отверстіяхъ получились косые, удлинненные по направленію бытового теченія.

На чер. 171 эскизно изображены изотакхи на протяженіи воронокъ и бугровъ въ случаѣ устройства 4-хъ отверстій на правильномъ каналѣ. Въ этомъ случаѣ для всѣхъ отверстій бытовой уклонъ i и бытовая скорость v_0 — одинаковы, но бытовые расходы Q_n — различны соотвѣтственно величинѣ отверстій; наибольшее значеніе Q_n имѣетъ отверстіе № IV, за нимъ слѣдуютъ отверстія №№ I и III и наименьшее значеніе Q_n въ отверстіи № II. Въ томъ же порядкѣ располагаются отверстія по мощности ихъ бытовыхъ руселъ и по водопропускной способности. Сообразно съ этимъ, условія прохода водъ во всѣхъ 4-хъ отверстіяхъ различны, также различны ихъ частныя воронки и бугры.

Въ соотвѣтствіи съ мощностью руселъ отверстій наибольшее среднее значеніе частнаго подпора и наибольшій добавочный уклонъ съ наибольшимъ приращеніемъ скорости имѣетъ мѣсто при отверстіи № II; протяженіе же воронки и бугра при этомъ отверстіи наименьшее. Отверстіе № IV, какъ обладающее наиболѣе мощнымъ русломъ, имѣетъ наименьшее значеніе частнаго подпора, наименьшій добавочный уклонъ, наименьшее приращеніе скорости и наиболѣе длинное протяженіе воронки и бугра. Остальныя два отверстія № I и № III въ отношеніи всѣхъ перечисленныхъ элементовъ занимаютъ мѣсто между отверстіями № II и № IV; причемъ отверстіе № I, какъ имѣющее русло

болѣе мощное, чѣмъ № III, приближается въ отношеніи всѣхъ элементовъ къ отверстию № IV, а отверстие № III, какъ имѣющее русло менѣе мощное, приближается къ отверстию № II. Сообразно съ изложеннымъ, воронка и бугоръ при отверстіи № II показаны на чертежѣ наименьшаго протяженія и наиболѣе крутые, съ наибольшимъ числомъ сравнительно густо расположенныхъ изотахъ; а при отверстіи № IV воронка и бугоръ показаны наибольшаго протяженія и болѣе пологіе, съ наименьшимъ числомъ сравнительно рѣдко расположенныхъ изотахъ. Общая подпорная линія приближается наиболѣе къ отверстию съ слабымъ русломъ № II и наиболѣе удаляется отъ мощнаго отверстія № IV.

Что касается отношеній $\frac{S_n}{Q_n}$, то въ соотвѣтствіи съ мощностью руселъ при отверстіи № II отношеніе $\frac{S_2}{Q_2}$ получается наибольшее, а при отверстіи № IV отношеніе $\frac{S_4}{Q_4}$ — наименьшее. Наибольшій расходъ S_4 проходитъ черезъ отверстие № IV, обладающее наибольшей водопропускной способностью; за нимъ въ порядкѣ уменьшенія слѣдуютъ расходы S_1 , S_3 и наименьшій расходъ S_2 въ отверстіи № II, обладающемъ наименьшей водопропускной способностью.

По соображенію съ указанной градаціей расходовъ S_n и отношеній $\frac{S_n}{Q_n}$, представляется возможнымъ показать на чер. 171 разграниченіе воронокъ и бугровъ второго порядка и распредѣленіе водъ между отверстіями. *Водораспределительныя линіи*, показанныя на чертежѣ пунктиромъ, должны отходить отъ полотна въ водораздѣльныхъ точкахъ, которыя, какъ уже выяснено, болѣе приближены къ менѣе мощнымъ отверстіямъ. На пути отъ водораздѣльныхъ точекъ у полотна съ верховой стороны до подпорной линіи водораздѣльныя линіи отклоняются постепенно отъ направленія бытоваго теченія въ сторону менѣе мощнаго отверстія. Направленіе распределительныхъ линій показываетъ, что *расходъ водъ черезъ данное групповое отверстие не совпадаетъ съ бытовымъ расходомъ въ предѣлахъ ограниченныхъ водораздѣльными воронки вдоль полотна, т. е. шириною воронки, а отличается отъ него въ ту или другую сторону.*

Съ измѣненіемъ общаго расхода потока происходитъ измѣненіе подпоровъ и измѣненіе распредѣленія водъ; соотвѣтственно съ этимъ *распредѣлительныя линіи должны перемѣщаться съ измѣненіемъ подпоровъ.*

Затѣмъ, чер. 171 показываетъ, что *всѣ воронки при групповыхъ отверстіяхъ не только обнимаются общей подпорной линіей, ограничивающей общую передъ отверстіями группы подпорную водную поверхность, но заключены въ одну общую обтекающую воронку. Групповыя отверстія работаютъ въ одной общей воронкѣ; образующіяся же передъ отверстіями частныя воронки являются воронками второго порядка, которыя въ болѣе или менѣе степени сливаются между собою. Наиболѣе слитыми представляются на чер. 171 воронки и бугры при отверстіяхъ №№ I и II, поставленныхъ наиболѣе близко другъ къ другу. Вообще, степень сліянія воронокъ и бугровъ второго порядка находится въ обратной зависимости отъ взаимнаго разстоянія между сосѣдними отверстіями и въ прямой зависимости отъ ихъ мощности.*

Кромѣ воронокъ перваго и второго порядковъ слѣдуетъ отличать еще воронки третьяго порядка, которыя образуются благодаря мостовымъ опорамъ передъ отдѣльными пролетами одного отверстія. Воронки третьяго порядка всегда въ сильной степени слиты между собою.

Далѣе, изъ чер. 171 видно, что чѣмъ болѣе слиты воронки, тѣмъ водораздѣлы ихъ ограничены высшими изотаксами и болѣе понижены. Чѣмъ воронки менѣе слиты, тѣмъ горизонтъ водораздѣла выше. Въ частномъ случаѣ при малой степени сліянія воронокъ *подъемъ водъ противъ бытоваго горизонта на водораздѣлѣ возлѣ полотна, т. е. размѣръ подпора на водораздѣлѣ можетъ не только достигнуть величины подпоровъ, образовавшихся на подпорной линіи противъ сосѣднихъ отверстій, но даже превзойти ихъ.* Обратнымъ предѣльнымъ случаемъ является случай непосредственной близости отверстій, когда они изъ групповыхъ отверстій обращаются въ отдѣльные пролеты общаго отверстія и раздѣлены только опорами; въ этомъ случаѣ *воронки наиболѣе слиты и горизонтъ водораздѣловъ наиболѣе пониженъ и приближается къ горизонту воды въ пролетахъ.*

На основаніи изложеннаго, горизонты водораздѣловъ между воронками возлѣ полотна въ случаѣ группы отверстій различны, и находятся въ прямой зависимости отъ величинъ соответственныхъ частныхъ подпоровъ и въ обратной зависимости отъ степени сліянія воронокъ. А такъ какъ степень сліянія воронокъ находится въ обратной зависимости отъ разстоянія между отверстиями и въ прямой зависимости отъ ихъ мощности, то горизонтъ каждого водораздѣла въ группѣ находится въ прямой зависимости отъ величинъ частныхъ подпоровъ, образовавшихся при смежныхъ отверстияхъ, и отъ разстоянія между этими отверстиями, и въ обратной зависимости отъ ихъ мощности. Оба водораздѣла при каждой отверстіи, вообще говоря, находятся въ не одинаковыхъ горизонтахъ въ соответствии съ разными гидравлическими элементами сосѣднихъ отверстій, разными частными подпорами при нихъ и съ разною степенью сліянія данной воронки съ сосѣдними воронками. Водораздѣлъ I—II на чер. 171 ниже водораздѣла II—III; водораздѣлъ III—IV также ниже водораздѣла II—III.

На дельтовомъ участкѣ, какъ видно изъ вѣд. 57 возвышеніе водораздѣловъ надъ горизонтомъ воды при отверстияхъ, съ поправкой на бытовую уклонъ, составляло отъ 0.02 до 0.09 саж. Колебаніе этихъ возвышеній указываетъ на различную степень сліянія воронокъ второго порядка, на различныя частныя подпоры при всѣхъ отверстияхъ и на различныя гидравлическія свойства руселъ отверстій. Вмѣстѣ съ тѣмъ, если принять во вниманіе, что отверстия на дельтѣ разставлены на значительныя разстоянія другъ отъ друга отъ 1.8 до 5 вер., благодаря чему сліяніе воронокъ не могло быть велико и что горизонтъ воды въ отверстияхъ почти сливался съ бытовымъ, слѣдуетъ придти къ заключенію, что полныя частныя подпоры на дельтовомъ участкѣ, (каковыя, по причинамъ изложеннымъ выше, не могли быть наблюдаемы), были въ 1908 г. не велики, такъ какъ не могли существенно превысить 0.09 саж.

Въ цѣляхъ подтвержденія, насколько недостаточно до настоящаго времени изучено явленіе прохода водъ черезъ отверстія, умѣстно замѣтить, что докладчикъ Инженернаго Совѣта Проф. Л. Ф. Николаи по вопросу о переходѣ черезъ Волжскую дельту

ВѢДОМОСТЬ 57

а) возвышеній водораздѣловъ возлѣ полотна надъ горизонтами воды въ мостовыхъ руслахъ непосредственно передъ отверстиями, и б) длинъ боковыхъ щекъ воронокъ, при наивысшемъ наблюденномъ горизонтѣ.

№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ОТВЕРСТІЙ.	Возвышеніе водораздѣловъ возлѣ полотна надъ горизонтомъ воды въ мостовыхъ руслахъ передъ отверст.				Длина боко- выхъ щентъ воронки:	
		полное возвышеніе:		возвышеніе съ поправ- кой на бытовой уклонъ:		сѣверная щека.	южная щека.
		сѣверный водоразд.	южный во- дораздѣль.	сѣверный водоразд.	южный во- дораздѣль.		
		в ѣ с а ж е н і я х ѣ.					
1	р. Ахтуба	0.045	0.04	0.03	0.04	760	220
2	» Бузанъ	0.075	—	0.05	—	1670	—
3	ер. Банный.	0.04	0.035	0.02	0.04	720	240
4	» Безымянный. . .	0.055	0.035	0.03	0.04	760	150
5	» Проточный . . .	0.085	0.06	0.06	0.06	720	180
6	» Узк. Есауль. . .	0.12	0.06	0.09	0.06	810	240
7	р. Крив. Бузь. . . .	0.085	0.04	0.05	0.04	970	170
8	ер. Болтайка. . . .	0.075	0.06	0.05	0.06	760	220
9	» Гнилуша	0.10	0.075	0.05	0.08	1530	330
10	р. Рыча	0.14	0.04	0.08	0.04	1590	90
11	ер. Углянь.	0.16	0.07	0.06	0.07	2100	280
12	» Утюпкинь. . . .	0.085	0.045	0.05	0.05	930	230
13	Отводъ 3-хъ ериковъ.	0.125	0.075	0.07	0.09	1730	1320
14	р. Болда.	0.03	—	0.02	—	230	—
Среднее для всѣхъ отверстій.		—	—	—	—	1091	262

высказалъ заключеніе *), „что въ поймѣ пересѣченной дамбой съ прорѣзами, черезъ которые устремляется вода, неизбежно образованіе около большихъ отверстій постоянного поднятія горизонта воды съ верховой стороны въ обѣ стороны отъ моста; протяженіе занятое подпорнымъ горизонтомъ бываетъ обыкновенно около 3—5 вер. при абсолютномъ значеніи поднятія въ 0.50—0.70 саж.“. Такой подъемъ ожидался докладчикомъ по обѣ стороны рѣкъ Болды, Рычи, Бузана и Ахтубы. Въ ожиданіи столь значительнаго подъема водъ по предложенію докладчика Инженерный Совѣтъ постановилъ „поднять верховую берму полотна до уровня или выше балласта, образовавъ въ такомъ случаѣ валъ“. Этотъ валъ не былъ осуществленъ, такъ какъ проходъ водъ подтвердилъ проектныя предположенія, что въ данномъ случаѣ въ дѣйствительности образуется совершенно небольшой подъемъ водъ относительно горизонта въ отверстіяхъ, именно, какъ выше указано, отъ 0.02 до 0.09 саж.

Ошибочное заключеніе докладчика Инженернаго Совѣта составилось потому, что имъ было сдѣлано обобщеніе размѣровъ явленія, наблюденныхъ гдѣ-либо въ частныхъ случаяхъ; а между тѣмъ все настоящее изслѣдованіе приводитъ къ тому заключенію, что размѣры явленія, сопровождающаго проходъ водъ черезъ отверстія, зависятъ въ каждомъ случаѣ отъ совокупности многочисленныхъ факторовъ, и что рѣшительно нельзя обобщать ихъ и полагать, что протяженіе воронки, считая вдоль линіи, должно быть во всѣхъ случаяхъ отъ 3 до 5 вер. при глубинѣ ея 0.50—0.70 саж. Въ частныхъ случаяхъ форма и размѣры воронокъ и бугровъ, вообще говоря, могутъ быть весьма разнообразны.

Выше выяснено, что мѣстоположеніе водораздѣловъ у полотна не совпадаетъ, вообще говоря, съ серединой разстоянія между отверстіями, а находится ближе къ тому отверстію, которое обладаетъ меньшей мощностью, если тому не препятствуютъ мѣстныя особенности. Поэтому, *воронки второго порядка въ отно-*

*) Журналъ Инж. Совѣта № 48—1905 г.

шеніи д.лны боковыхъ щекъ, вообще говоря, несимметричны. На мѣстоположеніе водораздѣловъ оказываютъ еще вліяніе мѣстныя особенности: острова, гривки, заросли, а также косина пересѣченія водотока. Въ частныхъ случаяхъ вліяніе мѣстныхъ условій сказывается настолько сильно, что при большомъ мостѣ можетъ получиться воронка малой ширины и водораздѣлы расположатся непосредственно вблизи моста, между тѣмъ какъ сосѣдній малый мостъ будетъ имѣть широкую воронку. Такіе случаи наблюдаены и на дельтѣ, какъ это уже отмѣчено въ началѣ настоящей главы; именно, мостъ черезъ р. Рычу имѣетъ ничтожное распространеніе воронки на югъ, всего на длину 90 саж., вслѣдствіе высокой гривки вдоль южнаго берега; за счетъ этого при мостѣ черезъ ер. Угланъ получилось наибольшее распространеніе воронки на сѣверъ, на длину 2100 саж. По той же причинѣ, вслѣдствіе высокаго праваго берега мостъ черезъ р. Бузанъ не имѣетъ распространенія воронки на югъ.

При косомъ пересѣченіи водотока водораздѣлы групповыхъ отверстій передвигаются въ сторону противоположную направленію теченія, почему несимметричность воронокъ еще болѣе увеличивается. При отверстияхъ на Волжской дельтѣ, главнымъ образомъ благодаря косому пересѣченію, всѣ воронки получились, какъ уже извѣстно, искаженными; средняя длина южныхъ (по направленію теченія) щекъ воронокъ составляла при самомъ высокомъ наблюденномъ горизонтѣ 262 саж. (вѣд. 57), между тѣмъ какъ средняя длина сѣверныхъ щекъ достигала 1091 саж.

По аналогіи съ заключеніемъ о горизонтахъ водораздѣловъ можно замѣтить относительно горизонтовъ ложбинъ у полотна съ низовой его стороны между низовыми буграми: чѣмъ больше подпоры при смежныхъ отверстияхъ, чѣмъ рѣже поставлены отверстия и чѣмъ меньше мощность ихъ русель, т. е. чѣмъ больше степень стѣсненія водотока, тѣмъ ниже горизонты ложбинъ между буграми. Чѣмъ меньше слиты бугры, тѣмъ ложбины болѣе понижены.

Вліяніе расположенія групповыхъ отверстій на ихъ водопропускную способность. Выгоды замѣны одиночнаго отверстія группою отверстій.

Исслѣдованіе горизонтовъ водораздѣловъ между воронками, обнаруживающее различное для разныхъ отверстій группы возвышеніе водораздѣловъ и, слѣдовательно, различные уклоны боковыхъ щекъ воронокъ даетъ указаніе на то, что водопропускная работа каждаго групповаго отверстія, подобно одиночному отверстию, зависитъ отъ средняго возвышенія частной подпорной линіи, ограничивающей данную частную воронку на всемъ ея протяженіи между водораздѣльными пунктами возлѣ полотна и состоящей изъ водораспределительныхъ линій и изъ отръзка общей подпорной линіи. Возвышеніе частной подпорной линіи надъ соответственной бытовой линіей и представляетъ собою частный подпоръ.

Чѣмъ выше водораздѣлы воронки и чѣмъ круче уклоны ея боковыхъ щекъ, тѣмъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ для пропуска опредѣленнаго расхода S_n требуется меньшій частный подпоръ, т. е. тѣмъ выше водопропускная способность даннаго отверстія. Следовательно, слияніе воронокъ, сопровождающееся пониженіемъ водораздѣловъ, оказываетъ на работу групповыхъ отверстій то же ослабляющее вліяніе, что и обрѣзанная форма воронокъ при одиночныхъ отверстіяхъ. А потому, водопропускная способность отверстій, обуславливаемая главнымъ образомъ размѣрами площадей ихъ живыхъ сѣченій и бытовыми расходами этихъ сѣченій, зависитъ также и отъ взаимнаго расположенія отверстій; именно, водопропускная способность находится въ прямой зависимости отъ разстоянія между групповыми отверстіями. Это заключеніе подтверждаетъ, что коэффициентомъ γ_n въ функціяхъ (31'), (32'), (38) и (39) должно быть учтено между прочимъ и вліяніе расположенія сосѣднихъ отверстій.

Изъ изложеннаго можно заключить, что такъ какъ близкое расположеніе отверстій, способствующее пониженію водораздѣловъ, уменьшаетъ водопропускную способность отверстій, то выгоднѣе разставлять ихъ по ширинѣ водотока, чѣмъ сосредоточивать вблизи другъ друга. Равнымъ образомъ выгоднѣе въ цѣляхъ уменьшенія подпора, вмѣсто одного отверстія опредѣленной длины разбивать его на нѣсколько разставленныхъ по ширинѣ водотока отверстій, составляющихъ въ суммѣ ту же длину, если мѣстныя условія и въ томъ числѣ живыхъ сѣченія и расположеніе

руселъ тому благопріятствуютъ. Расчлененіе одного отверстія на группу отверстій становится особенно выгоднымъ, когда второстепенныя отверстія могутъ быть расположены на руслахъ съ значительною площадью живаго сѣченія и съ значительнымъ бытовымъ расходомъ и, слѣдовательно, могутъ обладать значительною водопропускною способностью; между тѣмъ какъ сосредоточенное при главномъ руслѣ отверстіе той же длины расположилось бы частью на мало заливаемыхъ береговыхъ поемныхъ участкахъ, и потому, оно обладало бы меньшею водопропускной способностью не только по своему сосредоточенному мѣстоположенію, но еще и по сравнительно малому живому сѣченію.

Подтвержденіе уменьшеннаго значенія въ водопропускной работѣ частей отверстій, располагаемыхъ въ хвостѣ мостовъ на береговыхъ участкахъ, находимъ въ мостѣ черезъ р. Болду, гдѣ, кромѣ двухъ руселъ, отверстіемъ перекрытъ островъ между ними. Наблюденіями 1908 г., въ сѣченіи въ 18 саж. выше отверстія (вѣд. 40), выяснено, что расходъ черезъ островную часть моста при проходѣ высокихъ водъ составлялъ отъ 13 до 5 куб. саж. при средней скорости отъ 0.08 до 0.03 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$; въ то время какъ расходъ черезъ обѣ русловыя части колебался отъ 411 до 315 куб. саж., при средней скорости отъ 0.43 до 0.28 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$. На 1 пог. саж. длины моста въ островной части приходился расходъ при наивышемъ наблюденномъ горизонтѣ водъ въ среднемъ: $\frac{12}{151.3} = 0.08$ куб. саж., между тѣмъ какъ на 1 пог. саж. моста въ русловыхъ его частяхъ соотвѣтственный расходъ составлялъ въ среднемъ: $\frac{119+260}{91.4+210.3} = 1.27$ куб. саж. *). Приведенныя цифры ясно показываютъ, что островная часть Болдинскаго моста принимаетъ ничтожное участіе въ пропускѣ водъ. Если бы эта часть отверстія была засыпана, то водопропускная работа русловыхъ частей моста возрасла бы менѣе чѣмъ на: $\frac{12 \times 100}{119+260} = 3.1\%$. Изложенное приводитъ къ заключенію, что островная часть Болдинскаго моста, имѣющая значительную длину въ 151.3 саж., т. е. равная $\frac{1}{3}$ общей длины моста, могла бы быть замѣнена насыпью безъ ущерба для пропуска воды черезъ линію, чѣмъ была бы достигнута крупная экономія,

*) Цифровыя данныя взяты изъ вѣд. 40.

и при томъ безопасность желѣзнодорожной линіи была бы обезпечена еще въ болѣе степени.

Другой примѣръ предпочтительности при соответственныхъ мѣстныхъ условіяхъ устройства группы отверстій, вмѣсто одиночнаго отверстія, захватывающаго кромѣ русла также участок поймы, представляетъ переходъ черезъ р. Донъ подъ станицей Усть-Медвѣдицкой, проектируемый для Саратовъ-Миллеровской линіи. Одиночное отверстіе моста по расчету опредѣлилось въ 295 саж.; оно перекрываетъ частью своей длины малодѣятельный участокъ поймы (чер. 180. Л. LXXIX), покрытой густою зарослью ивняка и лозы, въ то время какъ мощные протоки на поймѣ, и въ томъ числѣ дѣятельный правобережный протокъ Коптюха, остаются не перекрытыми и подлежали бы засыпкѣ. А потому, въ этомъ случаѣ въ интересахъ увеличенія водопропускной способности отверстія умѣстнымъ и болѣе рациональнымъ является распредѣленіе одиночнаго отверстія на два групповыхъ (чер. 181); одно длиною 220 саж. перекроетъ всю бытовую ширину главнаго русла, и другое длиною 75 саж. перекроетъ наиболѣе дѣятельный протокъ „Коптюху“, протекающій въ 300 саж. отъ главнаго русла. При такомъ распредѣленіи отверстій, съ сохраненіемъ той же общей длины, отверстія будутъ обладать болѣе водопропускной способностью и, слѣдовательно, подпоръ образуется меньшій, проходъ водъ будетъ болѣе плавнымъ, и бытовой режимъ потока будетъ нарушенъ въ меньшей степени.

Въ описываемомъ случаѣ мостовое русло на Коптюхѣ назначено укрѣпить сплошной каменной одеждой въ предупрежденіе его размыва и ослабленія судоходныхъ условій главнаго русла.

Чер. 170 (Л. LXXV) составленъ для дальнѣйшаго изученія вліянія взаимнаго удаленія групповыхъ отверстій на ихъ водопропускную способность. На этомъ чертежѣ представлены два отверстія на правильномъ каналѣ въ двухъ случаяхъ: при значительномъ взаимномъ удаленіи отверстій и при сближеніи ихъ. Одно изъ отверстій съ русломъ малой мощности, а другое съ русломъ сравнительно большой мощности. Когда отверстія взаимно удалены на значительное разстояніе, тогда воронки

второго порядка менѣе слиты, водораздѣлъ между воронками мало пониженъ относительно подпорной линіи и ограниченъ изотаксами малаго значенія. При такихъ условіяхъ, какъ уже выяснено, водопропускная способность отверстій повышется. Вмѣстѣ съ тѣмъ изъ чертежа видно, что чѣмъ менѣе слиты воронки второго порядка, тѣмъ форма ихъ болѣе правильна, и тѣмъ онѣ ближе отвѣчаютъ мощности русель отверстій; именно, малое отверстие удаленное отъ большаго работаетъ подѣйствіемъ большаго частнаго подпора и съ болѣе приращеніемъ скорости по сравненію съ болѣе болѣе отверстиемъ. По мѣрѣ же приближенія малаго отверстия къ большому, воронки все болѣе между собою сливаются и принимаютъ болѣе общій характеръ; вслѣдствіе чего малое отверстие въ отношеніи подпора, приращенія скорости и вообще водопропускной работы все болѣе сравнивается съ болѣе болѣе отверстиемъ, т. е. водопропускная работа его ослабѣваетъ; при этомъ происходитъ пониженіе горизонта водораздѣла. Вслѣдствіе ослабленія водопропускной работы малаго отверстия по мѣрѣ приближенія его къ большому, общій подпоръ на водотокѣ для пропуска опредѣленнаго расхода ΣS долженъ расти. По этой причинѣ водопропускная способность группы отверстій по мѣрѣ взаимнаго ихъ сближенія уменьшается, хотя бы размѣры отверстій и бытовой расходъ ΣQ , какъ въ разсматриваемомъ случаѣ, оставались неизмѣнными. Кромѣ ΣS и ΣQ въ данномъ случаѣ остались безъ измѣненія также прочіе элементы, входящіе въ функціональную зависимость (38), за исключеніемъ коэффициента γ_z , который долженъ измѣниться въ зависимости отъ расположенія отверстій.

Такимъ образомъ, разсмотрѣніе чер. 170 подтверждаетъ сдѣланныя выше заключенія о зависимости водопропускной способности отверстій отъ ихъ взаимнаго расположенія, о выгодуности, въ интересахъ уменьшенія подпора, распределять групповыя отверстия по всей ширинѣ водотока и раздѣлять одно отверстие на нѣсколько отдѣльныхъ отверстій, если мѣстныя условія тому благоприятствуютъ, т. е. если имѣются соответственной мощности и соответственно расположенныя русла.

Это заключеніе подтверждается также соображеніемъ о работѣ совершаемой водою при проходѣ черезъ отверстия, такъ какъ

чѣмъ равномернѣе по водотоку распредѣлены отверстія, тѣмъ меньше отклоняются воды отъ своего бытового пути, тѣмъ меньше дополнительный путь воды и, слѣдовательно, меньшую дополнительную работу вода должна совершить для прохода черезъ отверстія; а потому для совершенія этой работы требуется меньшій подпоръ. При отверстіяхъ сосредоточенныхъ въ одномъ мѣстѣ водотока дополнительная работа воды достигаетъ наибольшаго значенія и потому въ этомъ случаѣ получается большій подпоръ. *Итакъ, группа отверстій въ отношеніи водопропускной способности и наименьшаго нарушенія бытовыхъ условій водотока имѣетъ несомнѣнные преимущества передъ равновеликимъ одиночнымъ отверстіемъ.*

Кромѣ того чер. 170 наглядно иллюстрируетъ то положеніе, что ширина воронокъ, опредѣляемая водораздѣлами возлѣ полотна, не даетъ понятія о распредѣленіи водъ между отверстіями, такъ какъ водораспредѣлительныя линіи, начинаясь отъ водораздѣловъ у полотна, отклоняются отъ направленія бытового теченія. *Чѣмъ водораспредѣлительныя линіи меньше отклоняются отъ направленія бытового теченія, тѣмъ меньшее происходитъ перераспредѣленіе водъ противъ бытового режима, тѣмъ меньше дополнительная работа воды для прохода черезъ отверстія и тѣмъ, слѣдовательно, выгоднѣе расположены отверстія и выше ихъ водопропускная способность, поскольку она зависитъ отъ размѣщенія отверстій.* Изъ чер. 170 и 171 видно, что тѣ водораспредѣлительныя линіи наиболѣе отклоняются отъ направленія бытового теченія, которыя проходятъ черезъ наиболѣе пониженные водораздѣлы между наиболѣе слитыми воронками. Поэтому въ цѣляхъ увеличенія водопропускной способности групповыхъ отверстій необходимо стремиться къ уравниванію горизонтовъ водораздѣловъ между воронками; а достигнуть этого возможно, если отверстія такъ взаимно удалены, что воронки получаются симметричными; при этомъ горизонты водораздѣловъ мало между собою различаются. Такимъ образомъ, *въ интересахъ увеличенія водопропускной способности назначаемыхъ групповыхъ отверстій и наименьшаго перераспредѣленія водъ противъ бытового режима, необходимо, насколько позволяютъ мѣстныя особенности, такъ распредѣлить отверстія на потокъ, чтобы воронки при нихъ*

были, по возможности, симметричны, съ одинаковымъ въ каждой данной воронкѣ протяженіемъ боковыхъ щекъ и съ равною высотой водораздѣловъ. Такимъ образомъ, для групповыхъ отверстій имѣетъ мѣсто то же условіе увеличенія водопропускной способности, какое было опредѣлено для одиночныхъ отверстій.

Изученіе водораспредѣлительныхъ линій наводитъ на мысль, что можно было бы производить искусственное распредѣленіе водъ между отверстиями путемъ устройства длинныхъ продольныхъ раздѣлительныхъ дамбъ отъ линіи перехода вверхъ до линіи начала подпора; въ этомъ случаѣ не было бы затрудненія въ точномъ опредѣленіи расходовъ S_n для всѣхъ отверстій, такъ какъ расходъ въ каждомъ отверстіи былъ бы равенъ бытовому расходу въ предѣлахъ ограниченныхъ головами раздѣлительныхъ дамбъ. Но устройство такихъ длинныхъ дамбъ не вызывается необходимостью и ихъ нельзя рекомендовать.

На чер. 172 (Л. LXXVI) эскизно изображены изотакхи воронокъ и бугровъ въ случаѣ устройства 3-хъ отверстій на одномъ водотокѣ, который состоитъ изъ трехъ руселъ раздѣленныхъ поймами; одно русло главное и два протока второстепенныхъ. Эти русла различны между собою по бытовымъ гидродинамическимъ элементамъ и, слѣдовательно, различны по мощности и водопропускной способности. Отверстія поставлены на руслахъ, и размѣры отверстій отвѣчаютъ меженному очертанію руселъ. Наибольшей мощностью русла и наибольшей водопропускной способностью обладаетъ отверстіе № I, за нимъ въ порядкѣ уменьшенія слѣдуютъ отверстія № III и № II. Въ соотвѣтствіи съ мощностью руселъ отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$ располагаются въ такомъ порядкѣ: наибольшее въ отверстіи № II и наименьшее въ отверстіи № I. Поэтому при отверстіи № I получается наибольшее протяженіе воронки и бугра съ наименьшимъ частнымъ подпоромъ k_1 , наименьшимъ добавочнымъ уклономъ j_1 и наименьшимъ приращеніемъ скорости. Въ отверстіи № II эти элементы получаютъ предѣльные въ обратную сторону; отверстіе же № III по своимъ элементамъ занимаетъ среднее положеніе между отверстиями № I и № II. Подпорная линія, обнимающая общую воронку, наиболѣе удалена отъ отверстія № I

и наиболѣе приближается къ отверстию № II. Въ соотвѣтствіи съ водопрпускной способностью проведены линіи распредѣленія водъ между отверстиями, отклоняющіяся по мѣрѣ удаленія отъ полотна въ сторону менѣе мощнаго отверстия.

Кромѣ подпорной линіи на чер. 172 показана линія начала подпора. Между этими линіями подпоръ постепенно нарастаетъ и скорости водотока постепенно замираютъ, благодаря чему становится возможнымъ перераспредѣленіе водъ противъ бытового режима. Итакъ, *подпоръ создаетъ перераспредѣленіе водъ въ живомъ стѣченіи противъ бытового режима.*

Заключеніе.

На основаніи вышеприведеннаго изученія явленія прохода водъ черезъ группу отверстій можно слѣдующимъ образомъ охарактеризовать природу этого явленія.

1) Групповыя отверстия, расположенныя на общемъ водномъ пространствѣ, находятся въ закономерной взаимной зависимости; ихъ водопрпускная работа протекаетъ подъ вліяніемъ общей подпорной поверхности и объединяется общей для всей группы обземляющей воронкой; поэтому водопрпускная работа каждаго групповаго отверстия находится въ закономерной зависимости отъ работы прочихъ отверстій группы. Въ то же время каждое групповое отверстие въ любой моментъ работаетъ какъ одиночное отверстие подъ своимъ подпоромъ и своимъ перепадомъ, въ свойственной ему частной воронкѣ. Эти частныя воронки передъ групповыми отверстиями представляютъ подраздѣленія общей воронки и являются воронками втораго порядка. Точно также при каждомъ групповомъ отверстіи имѣется свой водный бугоръ втораго порядка. Водные бугры всѣхъ отверстій группы составляютъ одинъ общій бугоръ.

Всѣ воронки втораго порядка одной группы обнимаются общей подпорной линіей, окаймляющей общую обземляющую воронку; и вмѣстѣ съ тѣмъ каждая воронка втораго порядка окаймляется своей частной подпорной линіей, которая упирается въ полотно въ водораздѣльныхъ пунктахъ и совпадаетъ съ водораспредѣлительными линіями.

Мостовыми промежуточными опорами воронки втораго порядка подраздѣляются на воронки третьяго порядка.

2) Элементы каждой воронки и бугра второго порядка: подпор k_n , добавочный уклон j_n и протяжение L_n и водопропускная работа данного группового отверстия въ каждый моментъ складываются въ соответствии съ бытовыми гидродинамическими элементами (γ_n , v_n , i_n и Q_n) русла перекрытаго даннымъ отверстиемъ въ той же закономерности, какъ если бы отверстие было не групповымъ, а одиночнымъ.

Частнымъ подпоромъ каждого группового отверстия является среднее возвышеніе надъ бытовой водной поверхностью частной подпорной линіи соответственной воронки второго порядка.

Частный подпоръ при данномъ групповомъ отверстіи, какъ и въ случаѣ одиночнаго отверстия, выражается функціей:

$$k_n = f_3 \left(\gamma_n, v_n, Q_n, i_n, \frac{s_n}{Q_n} \right) \dots \dots \dots (32').$$

Добавочный уклонъ j_n при данномъ групповомъ отверстіи определяется функціей:

$$j_n = f_2 (\gamma_n, Q_n, v_n, i_n, k_n) \dots \dots \dots (31').$$

Въ этихъ выраженіяхъ γ_n — коэффициентъ, характеризующій мѣстныя особенности въ районѣ данной водной воронки и бугра второго порядка и расположеніе отверстия относительно пересѣченнаго имъ русла, относительно направленія бытоваго теченія водъ и относительно соседнихъ отверстій, а также мощность руселъ послѣднихъ.

Элементы воронокъ и бугровъ второго порядка при всѣхъ отверстияхъ одной группы, вообще говоря, различны и устанавливаются въ соответствии съ бытовой мощностью руселъ отверстій. Полные частные подпоры k_n и добавочные уклоны j_n устанавливаются въ обратномъ соотношеніи съ мощностью руселъ, протяженіе же L_n воронокъ и бугровъ — въ прямомъ соотношеніи съ мощностью руселъ отверстій. Чѣмъ меньше мощность русла даннаго отверстия въ группѣ, тѣмъ сравнительно больше его подпоръ k_n и уклонъ j_n , тѣмъ короче протяженіе L_n соответственной воронки и бугра и тѣмъ ближе къ отверстию подходитъ общая подпорная линія, которая поэтому представляетъ собою извилистую линію.

3) Въ то же время все частные подпоры k_n связаны между собою общей подпорной поверхностью, образующейся передъ группой отверстій; подъёмъ этой поверхности характеризуется величиною средняго возвышенія общей подпорной линіи надъ бытовой водной поверхностью; это среднее возвышеніе является общимъ подпоромъ K , образовавшимся передъ данной группой отверстій.

Общій подпоръ K опредѣляется функцией:

$$K = f_6 \left(\gamma_\Sigma, \Sigma Q, v_\Sigma, i_\Sigma, \frac{\Sigma S}{\Sigma Q} \right) \dots \dots \dots (38).$$

Частные подпоры k_n отличаются отъ общаго подпора K въ обѣ стороны и распределяются въ обратномъ соотношеніи съ мощностью руселъ отверстій.

Связь между частными подпорами k_n и общимъ подпоромъ K выражается функцией:

$$k_n = f_7 (K, \gamma_n, v_n, \Sigma Q, i_n, \gamma_n, v_n, Q_n, i_n) \dots \dots (39).$$

Такимъ образомъ, хотя вся группа отверстій работаетъ подъ дѣйствіемъ общей подпорной поверхности, но въ то же время отдѣльныя групповыя отверстія работаютъ подъ разными подпорами соотвѣтственно съ мощностью ихъ руселъ.

4) Глубины воронокъ втораго порядка и крутизна ихъ щекъ въ каждый моментъ въ данной группѣ отверстій различны при разныхъ отверстіяхъ въ соотвѣтствіи съ различною бытовой мощностью руселъ отверстій и съ взаимнымъ размѣщеніемъ ихъ.

Соотвѣтственно съ этимъ, горизонты водъ въ отверстіяхъ одной группы въ каждый данный моментъ также различны. Въ общемъ случаѣ полная и нормальная пересѣченія водотока горизонты воды въ отверстіяхъ выше соотвѣтственнаго бытового горизонта.

5) Воронки и бугры втораго порядка болѣе или менѣе сливаются между собою, причемъ степень ихъ сліянія находится въ обратной зависимости отъ взаимнаго разстоянія между отверстіями и въ прямой зависимости отъ водонепроницаемой способности соседнихъ отверстій.

Въ общемъ случаѣ, при разной водонепроницаемой способности отверстій и при различныхъ промежуткахъ между отверстіями

слияніе воронокъ съ обѣихъ сторонъ получается различное и воронки получаютъ несимметричными въ отношеніи длины ихъ боковыхъ щекъ и въ отношеніи уровней водораздѣльных пунктовъ у полотна.

Въ случаѣ непосредственной близости отверстій, когда они изъ групповыхъ обращаются въ отдѣльные пролеты общаго отверстія, воронки наиболее слиты и горизонтъ водораздѣловъ между ними наиболее пониженъ.

Водораздѣльные пункты между воронками возлѣ полотна, вообще говоря, не совпадаютъ съ серединою разстоянія между отверстіями, а отстоятъ отъ середины, въ случаѣ правильнаго однообразнаго характера поймы, въ сторону отверстія, обладающаго меньшей водопрпускной способностью тѣмъ дальше, чѣмъ больше разница между мощностью руселъ сосѣднихъ отверстій.

Водораздѣльные пункты не постоянны, а перемѣщаются въ зависимости отъ водопрпускной работы смежныхъ отверстій; при увеличеніи работы ближайшаго отверстія водораздѣльный пунктъ отходитъ отъ него, а при ослабленіи работы приближается къ нему.

Косое пересѣченіе потока искажаетъ воронки и бугры, дѣлаетъ ихъ косыми и, передвигая водораздѣлы въ сторону противоположную теченію, увеличиваетъ несимметричность ихъ боковыхъ щекъ.

При косомъ пересѣченіи потока низовые бугры могутъ получиться односторонніе, направленные въ сторону бытоваго теченія.

6) Водная поверхность вдоль полотна съ верховой стороны въ случаѣ группы отверстій представляетъ собою въ вертикальномъ сѣченіи волнообразную линію съ ложбинами противъ отверстій и съ вершинами на водораздѣлахъ между воронками. Горизонты групповыхъ водораздѣловъ возлѣ полотна различны; горизонтъ каждаго водораздѣла находится въ прямой зависимости отъ частныхъ подпоровъ сосѣднихъ отверстій и въ обратной зависимости отъ степени слиянія смежныхъ воронокъ втораго порядка, т. е. въ прямой зависимости отъ частныхъ подпоровъ и отъ разстоянія между сосѣдними отверстіями и въ обратной зависимости отъ бытовой мощности сосѣднихъ мостовыхъ руселъ.

Предѣльный наивысшій подѣмъ водъ противъ бытоваго горизонта на каждомъ данномъ водораздѣлѣ у полотна можетъ не только достигнуть величины подпора k_n ближайшаго отверстія, но даже нѣсколько превзойти ее.

7) Водная поверхность вдоль полотна с низовой стороны представляет собою также волнообразную линию, имеющую обратное очертание по сравнению с верховой водной поверхностью. Горизонты ложбин между буграми находятся в обратной зависимости от горизонтов соответственных водоразделов. Чем меньше слиты бугры, тем ложбины больше понижены.

8) Разность горизонтов вод по обе стороны полотна между каждыми двумя смежными отверстиями группы растет по мере удаления от отверстий и по мере приближения к водоразделному пункту и ложбин. Наибольшей величины разность горизонтов достигает в этих пунктах в случае их совпадения, или вблизи их в случае их расхожести.

При косом пересечении потока разности горизонтов вод по обе стороны полотна, а равно перепады растут для всей группы по направлению общего бытового течения вод; вместе с перепадами нарастают и приращения скорости в отверстиях, расположенных ниже по течению.

9) Водопропускная работа каждого группового отверстия характеризуется отношением $\frac{S_n}{Q_n}$. Отношения $\frac{S_n}{Q_n}$ в групповых отверстиях находятся в обратной зависимости от Q_n и v_n и располагаются в обратном соотношении с бытовой мощностью русел отверстий. Чем больше мощно в бытовых условиях русло данного группового отверстия, тем меньше при этом отверстии отношение $\frac{S_n}{Q_n}$ и тем меньшее в отверстии приращение скорости, так как чем больше мощно бытовое русло данного группового отверстия, тем получающиеся при нем воронка и бугор имеют более плавную форму и тем меньше нарушается бытовой режим в данном отверстии.

В предълах дельтового участка отношения $\frac{S_n}{Q_n}$ при с. в. водах колеблются от 14.4 до 1.1, в то время как соответственные бытовые скорости мостовых русел колеблются от 0.04 до 0.64 $\frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ и бытовые расходы от 3 до 1461 куб. саж.

10) Расход S_n , пропускаемый каждым данным отверстием в группе, есть величина закономерно согласованная с водопропускной способностью данного отверстия и всех прочих отверстий

въ группѣ. Съ измѣненіемъ водопроточной способности одного или нѣсколькихъ отверстій въслѣдствіе увеличенія или уменьшенія ихъ размѣровъ (размывъ или загроможденіе) происходитъ перераспредѣленіе общаго расхода потока ΣS между отверстиями; именно, съ возрастаніемъ водопроточной способности даннаго отверстия расходъ черезъ него при прочих одинаковыхъ условіяхъ возрастаетъ, расходы же черезъ остальные групповыя отверстия убываютъ. При этомъ отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$ для всѣхъ групповыхъ отверстій, т. е. интенсивность ихъ работы, измѣняются въ обратной зависимости отъ измѣненія полной водопроточной способности группы отверстій. Также въ обратной зависимости отъ измѣненія полной водопроточной способности группы отверстій измѣняются общій и частные подпоры, добавочные уклоны и скорости протеканія водъ въ отверстияхъ.

Распредѣленіе общаго расхода ΣS потока между групповыми отверстиями происходитъ въ прямомъ соотношеніи съ ихъ водопроточной способностью. Наибольшій расходъ водъ стремится пройти черезъ то групповое отверстие, русло котораго обладаетъ наибольшей водопроточной способностью. Водопроточная же способность отверстия, подобно случаю одиночнаго отверстия, находится въ прямой зависимости отъ площади ω_n живаго сѣченія русла отверстия и отъ его бытоваго расхода Q_n . Поэтому, какъ и въ случаѣ одиночнаго отверстия, существенно важно производить искусственную разработку групповыхъ мостовыхъ руселъ, такъ какъ этимъ увеличивается ихъ водопроточная способность, и выводитъ искусственную разработку полого въ обѣ стороны отъ отверстия. Въ тѣхъ же видахъ необходимо слѣдить за состояніемъ мостовыхъ руселъ, дабы не произошло ихъ засоренія и уменьшенія водопроточной способности на всемъ протяженіи воронки и бугра. Кроме того, слѣдуетъ достигать для каждаго групповаго отверстия надлежащимъ направленіемъ линіи пересѣченія и регуляціонными работами нормальности расположенія его относительно общаго направленія теченія и относительно пересѣкаемаго участка русла, разумѣя подъ пересѣкаемымъ участкомъ длину его на протяженіи воронки и бугра.

Водопроточная способность групповыхъ отверстій зависитъ вмѣстѣ съ тѣмъ отъ ихъ взаимнаго расположенія, вліяющаго на полноту и симметричность воронокъ и бугровъ втораго порядка и на горизонты водораздѣловъ между воронками. Чѣмъ выше водо-

раздѣлы и чѣмъ меньше горизонты ихъ между собой отличаются, чѣмъ меньше слиты и болѣе симметричны воронка и бугоръ, тѣмъ при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ водопропускная способность групповаго отверстія выше. Поэтому въ интересахъ водопропускной способности и слѣдовательно для уменьшенія подпора групповыя отверстія должны быть такъ разставлены и настолько взаимно удалены, чтобы воронки и бугры втораго порядка получились меньше слитыми и болѣе симметричными. Взаимное сближеніе групповыхъ отверстій при прочихъ равныхъ условіяхъ понижаетъ водопропускную способность группы.

По тѣмъ же причинамъ представляется болѣе выгоднымъ вмѣсто назначенія на водотокъ одного отверстія определенной длины разбивать его на группу отверстій составляющихъ ту же длину, но разставленныхъ, по возможности, равномерно по ширинѣ водотока, если тому благопріятствуютъ мѣстныя условія и въ томъ числѣ расположеніе руселъ и размѣры ихъ живыхъ сѣченій.

Кромѣ перечисленныхъ факторовъ на водопропускную способность и на распределеніе водъ между групповыми отверстіями оказываютъ вліяніе мѣстныя особенности района воронокъ и бугровъ, каковы: лога, русла, резервы, заросли, острова и малозатопляемые участки и наконецъ въперъ. Эти факторы создаютъ или уменьшеніе сопротивленія, или дополнителныя сопротивленія движенію воды и потому вносятъ нѣкоторое искаженіе въ очертаніе и элементы воронокъ и бугровъ втораго порядка. Въ нѣкоторыхъ частныхъ случаяхъ вліяніе мѣстныхъ особенностей настолько сильно, что общее водное пространство водотока разбивается на отдѣльные бассейны, въ которыхъ отверстія работаютъ, какъ обособленныя группы.

11) Линіи распределяющія воды между отверстіями, отходя отъ полотна по водораздѣламъ до подпорной линіи, отклоняются отъ направленія бытоваго теченія въ сторону меньше мощнаго отверстія. Поэтому, расходъ водъ черезъ данное групповое отверстіе не совпадаетъ съ бытовымъ расходомъ той части потока, которая ограничена соответственными водораздѣльными пунктами возлѣ полотна.

Перераспределеніе водъ происходитъ на подпорной линіи и дѣлается возможнымъ благодаря уменьшенію скоростей потока подъ вліяніемъ образованія подпора. Подпоръ создаетъ перераспределеніе водъ.

Съ измѣненіемъ подпоровъ происходитъ новое перераспредѣленіе водъ и водораспределительныя линіи перемѣщаются.

Чѣмъ водораспределительныя линіи меньше отклоняются отъ направленія бытового теченія, тѣмъ меньшее происходитъ перераспредѣленіе водъ противъ бытового режима и тѣмъ выгоднѣе расположена данная группа отверстій. Водораспределительныя линіи наиболее отклоняются отъ направленія бытового теченія на водораздѣлахъ наиболее пониженныхъ; а потому еще разъ подтверждается, что групповыя отверстія выгоднѣе такъ располагать, чтобы воронки получились, по возможности, симметричными и водораздѣлы ихъ мало отличались бы по высотѣ.

12) Когда въ результатъ дальнѣйшихъ наблюдений надъ существующими сооруженіями будутъ опредѣлены виды функций (32'), (38) и (39), тогда въ каждомъ частномъ случаѣ для проектируемой группы отверстій на любомъ водотокѣ можно будетъ съ достаточнымъ приближеніемъ заранее вычислить общій подпоръ K и находящіеся отъ него въ зависимости частные подпоры k_n для каждаго отверстія; а зная k_n , можно будетъ по функциональной зависимости (32') опредѣлить отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$ и наконецъ расходы S_n для каждаго отверстія, т. е. распределить воды между отверстіями и знать подпоры и скорости для всѣхъ отверстій въ группѣ.

Предыдущая часть настоящей главы посвящена выясненію природы явленія прохода воды черезъ одиночныя и групповыя отверстія и опредѣленію зависимости, существующей между отдѣльными элементами, образующими явленіе, насколько это было возможно при наличности данныхъ наблюдений 1908 г., которыя должны быть отнесены лишь къ начальнымъ шагамъ въ дѣлѣ полного изученія работы отверстій въ условіяхъ дѣйствительности. Для окончанія изученія и провѣрки сдѣланныхъ выводовъ необходимы дальнѣйшія подробныя наблюденія надъ водопропускной работой отверстій, въ связи съ синтетической обработкой результатовъ; тогда не явныя функціи будутъ обращены въ опредѣленныя зависимости, и явится возможность при ихъ помощи въ каждомъ частномъ

Объ организаціи дальнѣйшихъ непосредственныхъ наблюдений на существующихъ переходахъ черезъ водотоки.

случаѣ при назначеніи одиночныхъ или групповыхъ отверстій опредѣлять заранѣе всѣ элементы ожидаемыхъ явленій. Разумѣется, имѣя общія формулы, придется учитывать въ каждомъ частномъ случаѣ мѣстныя особенности, вліяющія на работу отверстій, и придется вводить въ формулы для каждого случая соответственные коэффициенты, точность которыхъ будетъ возрастать по мѣрѣ накопленія матеріаловъ наблюдений.

замечаніе
Для скорѣйшаго разрѣшенія задачи раціональнаго проектированія переходовъ черезъ водотоки необходимы наблюденія въ самыхъ разнообразныхъ природныхъ условіяхъ, главнымъ образомъ при существующихъ уже одиночныхъ и групповыхъ отверстияхъ; только этимъ путемъ, а не одними лабораторными опытами, можетъ быть исчерпана разбираемая задача, имѣющая важное значеніе и широкое примѣненіе на каждой дорогѣ.

Въ лабораторныхъ условіяхъ явленія протекаютъ въ масштабѣ настолько уменьшенномъ, что они становятся трудно уловимыми; во всякомъ случаѣ наблюдение и изученіе ихъ затруднено *). Кромѣ рѣзкаго и неравномѣрнаго искаженія масштабовъ въ лабораторіи неизбѣжно приходится измѣнять и уклоны, и качество грунта, и размѣръ его частицъ. Между тѣмъ какъ въ природной лабораторіи, въ условіяхъ дѣйствительности, явленія протекаютъ безъ всякихъ искаженій въ натуральномъ, крупномъ масштабѣ, благодаря чему они явно выступаютъ и изученіе ихъ упрощается. Кромѣ того, нельзя не считаться съ тѣмъ, что изготовляя въ лабораторіяхъ модели водотоковъ и сооружений и уменьшая масштабъ водныхъ явленій, свойства воды при искаженіи всѣхъ прочихъ факторовъ, оставляемъ

*) По сообщенію Н. Креу, завѣдывающаго Берлинской лабораторіей, Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau, въ лабораторіи примѣняется уменьшеніе масштаба въ $1/40$ и болѣе, хотя стремятся, по возможности, не переходить за предѣлы $1/20$ для горизонтальныхъ разстояній и $1/10$ для вертикальныхъ; но малое уменьшеніе масштаба далеко не всегда возможно. Различное искаженіе горизонтальныхъ и вертикальныхъ масштабовъ практикуется обычно.

Въ опытахъ съ моделью участка р. Везера примѣнялось искаженіе линейнаго масштаба въ $1/100$. (Die Königliche Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau in Berlin. 1908).

природныя; вслѣдствіе этого вода не можетъ въ искаженной лабораторной обстановкѣ воспроизвести явленія тождественныя съ тѣми, которыя она производитъ въ условіяхъ дѣйствительности; въ лабораторіяхъ явленія получаются иныя. Отсюда и возникаютъ осложненія и, можетъ быть, даже невозможность изучить водныя явленія дѣйствительности въ лабораторной обстановкѣ, хотя бы и удалось путемъ различнаго искаженія гидродинамическихъ элементовъ получить явленіе подобное наблюдаемому въ дѣйствительности, но при иномъ сочетаніи условій. Выводы сдѣланныя на основаніи лабораторнаго опыта справедливы лишь въ предѣлахъ и условіяхъ опыта; распространеніе же ихъ на явленія въ условіяхъ дѣйствительности можетъ повести, и дѣйствительно приводитъ къ ошибкамъ *).

Какъ на одинъ изъ примѣровъ искаженія явленія въ лабораторной обстановкѣ можно указать на опыты съ размывами мостовыхъ опоръ въ Гидротехнической лабораторіи В. П. С., гдѣ въ нѣсколькихъ случаяхъ получились размывы съ низовой стороны опоръ вопреки дѣйствительности, что объясняется тѣмъ, что при совершенно малой глубинѣ потока въ 1.5 сант., рябь песчаного ложа въ опытовомъ лоткѣ оказываетъ настолько сильное вліяніе на подводный радіусъ, что въ лоткѣ получаютъ поперечныя струи, искажающія дѣйствіе потока на опору.

Къ такимъ же заключеніямъ привелъ опытъ Строительнаго Управленія Астраханской жел. дор. Для сравненія западнаго и восточнаго вариантовъ и выбора окончательнаго направленія линіи на дельтѣ была при Управленіи устроена модель дельты въ пра-

*) „La méthode des sciences physiques repose sur l'induction qui nous fait attendre la répétition d'un phénomène quand se reproduisent les circonstances ou il avait une première fois pris naissance. Si toutes ces circonstances pouvaient se reproduire à la fois, ce principe pourrait être appliqué sans crainte: mais cela n'arrivera jamais; quelques-unes de ces circonstances feront toujours défaut. Sommes-nous absolument sûrs qu'elles sont sans importance? Evidemment non. Cela pourra être vraisemblable, cela ne pourra pas être rigoureusement certain“ (H. Poincaré. La Science et l'Hypothèse. p. 6). Если, воспроизводя всѣ обстоятельства явленія, нельзя быть увѣреннымъ въ полученіи его, то тѣмъ болѣе нельзя изучить природу явленія, пытаясь воспроизвести его въ искаженныхъ условіяхъ.

вильномъ, но, разумѣется, чрезвычайно уменьшенномъ масштабѣ ($\frac{1}{20000}$)², съ искаженнымъ уклономъ въ стѣнкѣ изображавшей желѣзнодорожное полотно были вырѣзаны 14 назначенныхъ отверстій. На устройство модели и наблюденія ея было потрачено много вниманія и силъ. Опыты производились съ надлежащею предосторожностью и тщательностью. Но, такъ какъ свойства воды оставались натуральными, то вода въ условіяхъ искусственной обстановки не продѣлывала явленій тождественныхъ съ наблюденными въ дѣйствительности. Явленія на модели получились иного характера, совершенно отличныя отъ дѣйствительныхъ; соломинка, брошенная въ воду въ верхней части модели возлѣ стѣнки изображавшей полотно, пробѣгала съ водою вдоль всей стѣнки, мимо всѣхъ 14 отверстій и ни въ одно изъ нихъ не поворачивала, а уносила къ другому концу модели, изображавшему коренное русло р. Волги противъ г. Астрахани.

Приведенныя соображенія о недостаткахъ лабораторныхъ опытовъ относятся главнымъ образомъ къ изученію явленій, сопровождающихъ переходы черезъ водотоки; хотя едва ли и въ другихъ областяхъ водныхъ явленій лабораторія можетъ привести къ точнымъ количественнымъ результатамъ. Такъ, опыты съ моделью устья р. Гдовки привели къ необходимости наблюденій на мѣстѣ, „раньше чѣмъ приступить къ постройкѣ какихъ-либо ограждающихъ сооружений“, такъ какъ „выяснить интенсивность заносимости опытнымъ путемъ въ лабораторіи оказалось невозможнымъ“ *).

Это заключеніе Гидротехнической Лабораторіи является подтвержденіемъ той мысли, что лабораторные опыты уже сослужили свою большую службу по созданію современной Гидравлики, для дальнѣйшаго же развитія ея необходимо перенести наблюденія изъ лабораторій въ условія дѣйствительности.

Ужъ если должны производиться опыты въ гидротехническихъ лабораторіяхъ, то, чтобы при искаженіи явленій легче было ихъ уловить и изучить, казалось бы неизбѣжно слѣдуетъ исказить въ соотвѣтственномъ масштабѣ и самыя свойства воды.

*) Труды Гидротехнической Лабораторіи Вѣд. Путей Сообщенія. Вып. III стр. 50.

Это можно было бы сдѣлать, употребляя вмѣсто воды какую-либо иную жидкость, обладающую другой подвижностью частицъ. При такихъ опытахъ нельзя было бы опредѣлять коэффициенты, относящіеся къ водѣ, но можно было бы легче уяснить природу явленій: движенія жидкости, прохода ея черезъ отверстія, образованія водоворотовъ, дѣйствія жидкости на сооруженія и дѣйствія сооруженій на потокъ, легче можно было бы сравнивать и выяснять преимущества разныхъ типовъ гидротехническихъ сооруженій и проч. Но, слѣдуетъ ли прибѣгать къ искусственнымъ мѣрамъ, тратить большія средства на устройство и оборудованіе лабораторій ради того, чтобы наблюдать явленія въ искаженныхъ условіяхъ и въ ничтожныхъ размѣрахъ; тогда какъ природа намъ даетъ даровыя колоссальныя лабораторіи. Любой переходъ черезъ водотокъ, а они имѣются повсемѣстно, представляетъ собою такую лабораторію, на которой безъ большихъ затратъ можно открыть наблюдательную станцію для изученія разсматриваемыхъ явленій. Наблюденія на природныхъ станціяхъ будутъ и дешевы и плодотворны.

Рекомендуемыя наблюденія на переходахъ облегчены въ дальнѣйшемъ тѣмъ, что природа изучаемаго явленія и программа наблюденій до нѣкоторой степени уже выяснены; извѣстно, что и въ какомъ районѣ должно быть наблюдаемо; знаніе природы явленій облегчить наблюденіе его въ частныхъ случаяхъ.

Относительно программы наблюденій при существующихъ сооруженіяхъ остается замѣтить, что на ряду со всеми тѣми элементами, которые изучались въ настоящей главѣ, наблюденію подлежитъ подпорная поверхность на всемъ ея протяженіи, дабы въ каждомъ случаѣ при назначеніи отверстій было возможно опредѣлить не только полные подпоры, но и распространеніе подпорной поверхности вверхъ водотока.

Изложенное объ организаціи дальнѣйшихъ наблюденій приводитъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

Заключеніе.

1) Въ цѣляхъ исчерпывающаго рѣшенія задачи рациональнаго проектированія переходовъ черезъ водотоки необходимы наблюденія

въ разнообразныхъ природныхъ условіяхъ на существующихъ переходахъ.

Лабораторные опыты не приводятъ къ вѣрнымъ заключеніямъ по двумъ главнѣйшимъ причинамъ: въ лабораторныхъ условіяхъ является неизбѣжнымъ большое и неравномѣрное уменьшеніе масштаба явленій и искаженіе прочихъ гидродинамическихъ элементовъ, вслѣдствіе чего явленія искажаются и становятся трудно уловимыми; въ лабораторной обстановкѣ при всѣхъ прочихъ условіяхъ отличныхъ отъ дѣйствительности, свойства воды остаются природныя, вслѣдствіе чего водныя явленія при искаженныхъ условіяхъ получаютъ не тождественныя съ дѣйствительностью. Надежное изученіе явленій, сопровождающихъ устройство переходовъ черезъ водотоки, и вѣрные выводы возможны лишь при наблюденіяхъ въ условіяхъ дѣйствительности.

2) Программа наблюденій на переходахъ черезъ водотоки должна обнимать собою полностью всѣ водныя явленія, имѣющія мѣсто на переходахъ. Главнѣйшія части программы слѣдующія:

а) наблюденіе скоростей теченія, направленія струй, глубинъ, площадей сѣченій, горизонта водъ, очертанія водной поверхности, и уклоновъ во всемъ районѣ воднаго пространства выше и ниже линіи перехода, гдѣ происходитъ нарушеніе бытового режима;

б) изученіе водныхъ воронокъ и бугровъ, выясненіе подпорной линіи, линіи подошвы бугра и величинъ подпора и перепада;

в) наблюденіе распространенія подпорной поверхности;

г) наблюденіе горизонтовъ водъ, скоростей теченія, направленія струй, расходовъ въ мостовомъ руслѣ передъ отверстіемъ и въ самомъ отверстіи;

д) наблюденіе водоворотовъ;

е) сопоставленіе наблюденныхъ явленій съ бытовыми условіями, для чего должны быть подробно изучены бытовые гидродинамическіе элементы всего потока и отдѣльныхъ его частей, и въ томъ числѣ руселъ въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіями;

ж) въ случаѣ группы отверстій наблюденія должны быть распространены на всю группу.

ГЛАВА X.

О назначеніи отверстій и обезпеченіи устойчивости сооружений.

Въ предыдущей главѣ установлена необходимость дальнѣйшихъ непосредственныхъ наблюдений на существующихъ переходахъ черезъ водотоки для завершенія изученія явленія прохода водъ черезъ отверстія; однако-жъ, и нынѣ представляется возможнымъ, хотя до нѣкоторой степени, практически использовать выводы изъ результатовъ наблюдений 1908 г.

При назначеніи одиночныхъ отверстій можно пользоваться слѣдующими выводами, сдѣланными въ предыдущей главѣ. Назначеніе одиночныхъ отверстій.

а) Пересѣченіе потока должно быть выбрано въ болѣе узкомъ мѣстѣ и сдѣлано, по возможности, нормально къ направленію общаго теченія и къ участку русла, на которомъ назначается отверстіе.

б) Отверстіе должно быть располагаемо, по возможности, симметрично относительно всего потока, ближе къ центру его живаго сѣченія, и вмѣстѣ съ тѣмъ оно должно быть назначено на руслѣ, обладающемъ возможно бѣльшей водопропускной способностью.

в) Пересѣкаемый участокъ русла, на которомъ назначается отверстіе, долженъ имѣть прямолинейное очертаніе, нормальное къ отверстію, на длину, по возможности, не менѣе протяженія воронки и бугра. Для достиженія этого условія умѣстны выправительныя работы.

г) Мостовое русло должно быть подвергнуто возможно болѣе полной искусственной разработкѣ, съ пологимъ выводомъ раз-

работки вверхъ и внизъ отъ отверстія и съ пологими откосами. Разработка должна быть исполнена при самомъ сооруженіи моста.

е) Полезны работы по расширенію и углубленію русла на всемъ протяженіи воронки и бугра; а равно полезны открытіе резервовъ на поймѣ и работы по удаленію препятствій (гривки, бугры, заросли) движенію воды въ предѣлахъ воронки и бугра. Резервы и регуляціонныя работы должны быть согласованы съ проектомъ струенаправляющихъ дамбъ.

ф) Мостовыя опоры и струенаправляющія дамбы должны быть надежно укрѣплены одеждой соотвѣтственнаго типа, примененной на всѣхъ участкахъ требующихъ укрѣпленія. Типъ одежды долженъ быть выбранъ въ соотвѣтствіи съ качествомъ и напластованіемъ грунта ложа русла и съ возможно наибольшей скоростью въ отверстіи, для опредѣленія которой необходимо тщательно и непосредственно изучить бытовой режимъ водотока, и въ томъ числѣ высшій горизонтъ водъ, наибольшій расходъ, распределеніе его по русламъ и участкамъ поймы, и направленіе струй.

Назначеніе групповыхъ отверстій.

Однимъ изъ существенныхъ практическихъ результатовъ наблюденій 1908 г. является установленіе того положенія, что между грушовыми отверстіями существуетъ закономерная зависимость. То опасеніе, которое обычно высказывалось *) при назначеніи нѣсколькихъ отверстій на одномъ водномъ пространствѣ,

*) Проф. Николаи далъ слѣдующее разъясненіе по вопросу о групповыхъ отверстіяхъ: „При раздѣленіи рѣки на нѣсколько рукавовъ, покрываютъ мостомъ преимущественно одинъ рукавъ по направленію главной струи съ достаточнымъ отверстіемъ для пропуска всей воды (другіе рукава засыпаютъ), такъ какъ при покрытіи рукавовъ отдѣльными мостами можетъ случиться, что вся масса воды направится къ одному изъ этихъ мостовъ и, по недостатку отверстія, можетъ подмыть основанія опоръ“ (стр. 203. „Мосты“, изд. 1901 г.).

Проф. Передерій также включаетъ въ число основныхъ условій наилучшаго разрѣшенія вопроса о переходѣ черезъ водотоки концентрацію всѣхъ водъ въ одно русло. Однако-жъ, онъ дѣлаетъ слѣду-

именно, что весь расходъ или большая его часть бросится къ какому-либо одному отверстию и разрушить его — это опасеніе прочно установившееся, должно быть признано ошибочнымъ и оно практически опровергнуто сооруженіемъ на Волжской дельтѣ съ обеспеченной устойчивостью 14 мостовъ разнообразныхъ по величинѣ отверстій. Извѣстны также другіе примѣры вполне надежнаго сооруженія групповыхъ отверстій; такъ, безъ поврежденій стоятъ 3 моста на переходѣ черезъ р. Донъ у Ростова.

Въ предыдущей главѣ выяснено, что водонепускная работа групповыхъ отверстій строго закономерна; никакое произвольное направленіе водъ здѣсь не можетъ имѣть мѣста. Тѣ несчастные случаи, которые произошли съ групповыми отверстиями, и которые послужили основаніемъ для существующаго опасенія объясняются, какъ видно изъ дальнѣйшаго, допущенными строительными ошибками, происшедшими вслѣдствіе не знанія природы явленія прохода водъ черезъ отверстия.

ющія оговорки: для случая пересѣченія нѣсколькихъ рукавовъ рѣки: „если обстоятельства заставляютъ пересѣкать рѣку въ ея рукавахъ, то не слѣдуетъ покушаться закрывать лишніе рукава, если по нимъ течетъ значительное количество воды, такъ какъ это сопряжено съ рѣзкимъ измѣненіемъ быта рѣки, послѣдствія котораго не всегда возможно предвидѣть“; для случая пересѣченія широкой поймы: „пересѣченіе широкой поймы непрерывной насыпью ставитъ эту послѣднюю въ условіе, при которомъ ее можетъ прорвать высоко подпертая вода“ и для случая пересѣченія старорѣчья дѣятельнаго при проходѣ высокихъ водъ — „рекомендуется построить на старорѣчѣ особый мостъ“. Изъ этихъ оговорокъ можно вывести заключеніе, что Проф. Передерій признаетъ умѣстнымъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ устройство групповыхъ отверстій; но въ то же время находясь подъ впечатлѣніемъ размывовъ, имѣвшихъ мѣсто въ подобныхъ случаяхъ, онъ въ дальнѣйшемъ выражаетъ опасеніе за устойчивость добавочныхъ отверстій, такъ какъ каждое изъ нихъ „для всѣхъ полныхъ водъ будетъ не достаточно“. Отсюда видно, что, подобно другимъ авторамъ, Проф. Передерій также находитъ возможнымъ, что „всѣ полныя воды“ могутъ направиться въ добавочное отверстие. Для противодѣйствія этому цитируемое сочиненіе рекомендуетъ при назначеніи размѣра добавочнаго отверстия „дѣлать ошибку въ смыслѣ уменьшенія отверстия, нежели въ смыслѣ приданія ему излишней величины“. Эта мѣра, какъ ясно изъ результатовъ изученія явленія, не можетъ быть признана правильной. („Мосты“, ч. I, стр. 40, 51—57).

Затѣмъ, предыдущая глава привела къ заключенію, что не только нѣтъ основанія избѣгать групповыхъ отверстій, но напротивъ, въ случаѣ значительнаго разлива, при наличіи нѣсколькихъ руселъ группа отверстій имѣетъ съ разныхъ сторонъ преимущества передъ равновеликимъ одиночнымъ отверстиемъ: водопропускная способность группы отверстій выше по сравненію съ равновеликимъ одиночнымъ отверстиемъ, групповыя отверстия менѣе нарушаютъ бытовой режимъ, создаютъ меньшій подпоръ и меньшій подтопъ прибрежной мѣстности, сохраняютъ бытовое значеніе второстепенныхъ руселъ въ отношеніи судоходства, рыбопромышленности и снабженія населенныхъ пунктовъ водою. Между тѣмъ какъ при устройствѣ отверстия на одномъ главномъ руслѣ, какъ это обычно принято дѣлать, всѣ остальные русла на разливѣ и огромные участки поймы засыпаются и теряютъ свое промышленное значеніе; при этомъ бытовой режимъ водотока рѣзко искажается. Послѣдствіемъ искаженія водотока зачастую являются значительные и непредвидѣнные по расчету подпоры и подтопы прибрежной мѣстности, иногда заселенной и цѣнной, и вообще происходитъ нарушеніе мѣстныхъ интересовъ, не рѣдко весьма крупныхъ. При такихъ условіяхъ инженерныя работы при перестѣченіи рѣкъ вмѣсто возможнаго попутнаго урегулированія водотока приводятъ къ тяжелымъ осложненіямъ и даже къ его порчѣ. При рациональномъ же составленіи проекта перехода съ примѣненіемъ въ соотвѣтственныхъ случаяхъ групповыхъ отверстій вредныя послѣдствія рѣзкаго нарушенія бытового режима водотока могутъ быть въ значительной степени избѣгнуты.

Остается еще замѣтить, что на ряду съ достиженіемъ лучшихъ результатовъ въ смыслѣ наименьшаго искаженія бытового режима водотока, урегулированія его, образованія меньшаго подпора и соблюденія мѣстныхъ интересовъ, группа отверстій не только не должна по стоимости превзойти равнозначное одиночное отверстие, но во многихъ случаяхъ она должна быть еще выгоднѣе, не принимая даже во вниманіе платежей по претензіямъ за убытки отъ искаженія одиночнымъ отверстиемъ бытового режима.

Преимущества групповых отверстій понуждаетъ устраивать ихъ во всѣхъ случаяхъ, когда разливъ значителенъ, и когда имѣются на разливѣ кромѣ главнаго второстепенныя русла. Умѣстно устройство групповыхъ отверстій также въ томъ случаѣ, если одиночное отверстіе потребныхъ размѣровъ расположилось бы не только на руслѣ, но частью на прибрежныхъ участкахъ поймы. Эти условія встрѣчаются часто.

Въ ближайшее время руководствомъ при назначеніи групповыхъ отверстій могутъ служить слѣдующіе выводы предыдущей главы:

а) Прежде всего подлежитъ изученію бытовой режимъ пересѣкаемаго потока съ опредѣленіемъ бытовыхъ гидродинамическихъ элементовъ отдѣльно руселъ и отдѣльно участковъ поймы. Данные, которыя должны быть собраны въ бытовыхъ условіяхъ, перечислены въ „краткой инструкціи для производства наблюдений на потокахъ въ бытовыхъ условіяхъ съ цѣлью проектированія переходовъ“ (прил. № 1).

б) Мѣсто пересѣченія потока должно быть выбрано болѣе узкое и имѣющее длинныя прямолинейныя участки руселъ, по возможности, совпадающіе съ направлениемъ общаго теченія высокихъ водъ. Линія перехода должна быть назначена возможно нормальнѣе къ направленію теченія высокихъ водъ потока и къ тѣмъ участкамъ его руселъ, на которыхъ назначаются отверстія. Эти участки руселъ должны быть прямолинейны на протяженіи воронки и бугра. Во многихъ случаяхъ достаточно, если пересѣченные участки руселъ имѣютъ прямолинейное направленіе на длину до полуверсты какъ вверхъ, такъ и внизъ отъ мѣста перехода. Для достиженія перечисленныхъ условій могутъ быть допущены въ предѣлахъ разлива изгибы линіи перехода въ планѣ и по мѣрѣ надобности должны быть назначаемы на руслахъ выправительныя работы по спрямленію и отводу руселъ.

в) Мѣста отверстій должны быть выбраны соотвѣтственно съ мѣстными условіями, кромѣ главнаго русла, еще на тѣхъ второстепенныхъ руслахъ, которыя обладаютъ болѣе значительной

мощностью и притомъ расположены равномерно по живому сѣченію потока.

При выборѣ мѣстъ для отверстій надлежитъ имѣть въ виду, что близкое взаимное расположеніе отверстій уменьшаетъ ихъ водопропускную способность и что въ цѣляхъ увеличенія водопропускной способности отверстія должны быть взаимно удалены настолько, чтобы воронки ихъ были менѣе слитыми и болѣе симметричными.

d) Общая длина отверстій на потокѣ должна быть опредѣлена прежде всего по обычному способу въ предположеніи одиночнаго, сгруппированнаго въ одномъ мѣстѣ отверстія; при этомъ выясняется средняя скорость въ отверстіи до размыва. Общая средняя скорость для всей группы отверстій и общій подпоръ будутъ во всякомъ случаѣ ниже, чѣмъ при равновеликомъ одиночномъ отверстіи, такъ какъ водопропускная способность группы при надлежащемъ распредѣленіи и расположеніи отверстій превосходитъ водопропускную способность одиночнаго отверстія равной длины.

Затѣмъ, отверстія должны быть распредѣлены между выбранными руслами соотвѣтственно съ ихъ мощностью, по возможности, равномерно по живому сѣченію потока, причемъ наименьшая длина отверстій опредѣляется шириною меженныхъ руселъ.

При назначеніи длины групповыхъ отверстій надлежитъ имѣть въ виду, что малое отверстие въ группѣ не можетъ принести существенной пользы для пропуска водъ, такъ какъ его водопропускная способность мала и, слѣдовательно, малое отверстие не можетъ повліять сколько-нибудь существенно въ сторону уменьшенія ни на величину общаго подпора, ни на среднія скорости въ прочихъ групповыхъ отверстіяхъ; но въ то же время малое отверстие, какъ обладающее малой мощностью русла, должно работать подъ сравнительно большимъ частнымъ подпоромъ, съ большимъ приращеніемъ скорости, а потому устойчивость такого сооруженія подвергается сильному испытанію и во многихъ случаяхъ не можетъ быть обезпечена безъ чрезвычайнаго укрѣпленія. При такихъ условіяхъ малое отверстие въ группѣ, будучи мало полезнымъ, является наиболѣе опаснымъ

сооруженіемъ. Вслѣдствіе этого *въ группѣ не уместно назначеніе малыхъ отверстій*, къ каковымъ слѣдовало бы отнести на большихъ потокахъ отверстія менѣе 15—20 саж.

е) Въ предѣлахъ перекрывааемыхъ отверстіями должна быть назначаема въ цѣляхъ увеличенія водопропускной способности возможно большая искусственная разработка бытовыхъ руселъ съ плавнымъ выводомъ ея вверхъ и внизъ отъ отверстій и съ пологими откосами. Искусственная разработка должна быть исполнена при самой постройкѣ мостовъ.

ф) Распредѣленіе общаго расхода водотока ΣS между групповыми отверстіями можетъ быть приближенно сдѣлано соотвѣственно ихъ водопропускной способности, для чего назначаемыя отверстія должны быть расположены въ таблицѣ въ послѣдовательномъ порядкѣ по площадямъ живыхъ сѣченій ω_n ихъ руселъ перекрывааемыхъ отверстіями и по бытовымъ расходамъ Q_n въ тѣхъ же предѣлахъ. Пособіемъ при распредѣленіи расхода должны служить отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$, которыя, какъ уже извѣстно, слагаются въ послѣдовательномъ порядкѣ обратно мощности руселъ отверстій; поэтому, для приближеннаго установленія отношеній $\frac{S_n}{Q_n}$ назначаемыя отверстія должны быть расположены въ порядкѣ мощности ихъ руселъ, т. е. въ порядкѣ бытовыхъ расходовъ Q_n и скоростей v_n руселъ въ предѣлахъ перекрывааемыхъ отверстіями.

Когда сдѣлано распредѣленіе между отверстіями общаго расхода ΣS по водопропускной способности и по мощности ихъ руселъ, тогда должны быть изображены на планѣ ожидаемые воронки и бугры втораго порядка съ показаніемъ направленія водораспредѣлительныхъ линій. При этомъ должны быть учтены мѣстныя особенности участков разлива на протяженіи ожидаемыхъ воронокъ и бугровъ, каковы: гривки, острова, заросли, лога, резервы и проч. Планъ воронокъ и бугровъ послужитъ повѣркой сдѣланнаго распредѣленія водъ и въ свою очередь можетъ ввести въ него поправки.

Совокупность перечисленныхъ приѣмовъ дастъ возможность въ каждомъ частномъ случаѣ съ достаточнымъ приближеніемъ распредѣлить общій расходъ между отверстіями. Что касается

введенія запасовъ въ распредѣленіе расходовъ, то объ этомъ говорится ниже въ пун. г.

По мѣрѣ накопленія результатовъ наблюденій надъ проходомъ водъ въ существующихъ сооруженіяхъ, съ каждымъ годомъ будутъ точнѣе извѣстны предѣлы колебанія отношеній $\frac{S_n}{Q_n}$ для разныхъ случаевъ, и точнѣе можно будетъ опредѣлять значенія этихъ отношеній въ соотвѣтствіи съ мощностью руселъ, благодаря чему распредѣленіе водъ между групповыми отверстиями по водопропускной способности и по мощности руселъ, перекрываемыхъ отверстиями, будетъ производиться постепенно съ болѣею точностью.

г) Исходя изъ сдѣланнаго распредѣленія водъ должны быть опредѣлены среднія скорости u_n въ каждомъ групповомъ отверстіи по формулѣ:

$$u_n = \frac{S_n}{\mu \cdot \omega_n} \dots \dots \dots (40),$$

гдѣ μ —коэффициентъ расхода,

S_n —расходъ въ данномъ отверстіи по сдѣланному распредѣленію,

ω_n —площадь живаго сѣченія разработаннаго русла за вычетомъ стѣсненія опорами.

h) Въ соотвѣтствіи съ опредѣленными скоростями въ отверстіяхъ остается назначить для каждого групповаго отверстія такія укрѣпленія, которыя надежно обезпечивали бы устойчивость сооруженія. Эта сторона дѣла настолько важна, что ее слѣдуетъ разобрать болѣе подробно.

Ниже, въ главѣ XI выясняются три возможныхъ случая укрѣпленія искусственныхъ сооружений: во-первыхъ, сплошное укрѣпленіе по всей ширинѣ мостоваго русла въ томъ случаѣ, когда мостовыя опоры не допускаютъ размыва и притомъ поставлены на близкомъ взаимномъ разстояніи; во-вторыхъ, частичное укрѣпленіе русла вокругъ опоръ и въ видѣ полосъ вдоль подошвъ струенаправляющихъ дамбъ, когда опоры, хотя и удалены взаимно на значительное разстояніе, но не допускаютъ размыва; или когда и допускаютъ размывъ, но меньшей глубины, чѣмъ глубина возможнаго размыва неукрѣпленнаго русла; и въ третьихъ, укрѣпленіе только полосъ русла вдоль подошвъ

струенаправляющихъ дамбъ, когда промежуточные опоры допускаютъ размывъ той глубины, которая возможна въ неукрѣпленномъ руслѣ. Во всѣхъ трехъ случаяхъ необходимо еще соответственное укрѣпленіе откосовъ струенаправляющихъ дамбъ.

Эти три случая укрѣпленія сооружений одинаково возможны какъ при одиночныхъ, такъ и при групповыхъ отверстіяхъ. Въ групповыхъ руслахъ также допустимъ размывъ. Дѣйствительно, какъ уже извѣстно изъ предыдущей главы, размывъ групповаго русла, хотя и вызываетъ увеличеніе расхода S_n черезъ данное отверстіе, но въ то же время онъ сопровождается увеличеніемъ водопрпускной способности группы отверстій и уменьшеніемъ подпора при ней, а въ отношеніи размываемаго русла размывъ сопровождается уменьшеніемъ добавочнаго уклона и отношенія $\frac{S_n}{Q_n}$ и ослабленіемъ скорости теченія, вслѣдствіе чего размывъ неизбежно долженъ прекратиться. Слѣдовательно, размывъ групповыхъ руселъ не только допустимъ, но даже желателенъ съ точки зрѣнія увеличенія водопрпускной способности группы, лишь бы онъ не угрожалъ устойчивости опоръ и струенаправляющихъ дамбъ.

По этимъ соображеніямъ русла групповыхъ отверстій не требуютъ обязательно сплошнаго укрѣпленія, если опоры по глубинѣ заложенія допускаютъ глубокій размывъ, или если опоры и не допускаютъ глубокаго размыва, но взаимно удалены на значительное разстояніе и могутъ быть укрѣплены самостоятельно (чер. 49. Л. XXI). Въ тѣхъ же случаяхъ, когда разстояніе между мостовыми опорами мало и опоры не допускаютъ размыва, или когда по слабости и легкой размываемости грунта ложа русла можно ожидать глубокаго размыва между опорами, угрожающаго ихъ устойчивости несмотря на сдѣланное вокругъ нихъ укрѣпленіе, въ этихъ случаяхъ при групповыхъ отверстіяхъ, такъ же какъ при одиночныхъ, является необходимость въ сплошномъ укрѣпленіи мостоваго русла по всей его ширинѣ (чер. 48. Л. XXI). Точно такъ же приходится примѣнять сплошное укрѣпленіе мостовыхъ руселъ въ томъ случаѣ, когда не допустимо по судоходнымъ или инымъ соображеніямъ ослабленіе расхода въ какомъ либо групповомъ руслѣ вслѣдствіе размыва прочихъ руселъ.

Наконецъ, могутъ быть случаи, когда допущеніе размыва русла какого либо групповаго отверстія даже необходимо; это въ тѣхъ случаяхъ, когда по требованіямъ судоходства или инымъ соображеніямъ необходимо увеличеніе расхода въ данномъ руслѣ; при этомъ требуется лишь обезпечить устойчивость опоръ и струенаправляющихъ дамбъ соотвѣтственной глубиной заложения и надежнымъ укрѣпленіемъ, предоставляя остальную часть мостоваго русла размыву.

Устанавливая допустимость размыва мостовыхъ руселъ групповыхъ отверстій, слѣдуетъ, однако-жъ, обратить особое вниманіе на то существенное отличіе явленія размыва групповыхъ руселъ по сравненію съ одиночнымъ, которое создается непостоянствомъ расхода въ размываемомъ групповомъ отверстіи. Возрастаніе вмѣстѣ съ размывомъ расхода вноситъ большую неопредѣленность въ размѣры возможнаго размыва групповаго русла по сравненію съ одиночнымъ отверстіемъ и во всякомъ случаѣ должно имѣть послѣдствіемъ большій размывъ, чѣмъ это было бы въ тождественныхъ условіяхъ въ одиночномъ отверстіи, гдѣ расходъ при размывѣ остается постояннымъ. *Эта особенность групповыхъ руселъ въ случаѣ допущенія размыва требуетъ осторожности и запаса при назначеніи глубины заложения опоръ и укрѣпленій для обезпеченія устойчивости групповыхъ сооружений.* Разумѣется, нагроможденіе укрѣпленій излишне и вызываетъ лишь непроизводительныя затраты; но разумный запасъ укрѣпленія групповыхъ руселъ вполне уместенъ на случай нѣкотораго колебанія въ дѣйствительномъ распредѣленіи общаго расхода водъ противъ расчетнаго распредѣленія. *Запасъ укрѣпленія долженъ восполнить приближенность расчетнаго распредѣленія водъ между групповыми отверстіями и надежно закрѣпить въ извѣстныхъ предѣлахъ ихъ живыя сѣченія, водопропускную способность и распредѣленіе водъ между отверстіями.*

Къ изложенному слѣдуетъ присоединить, что именно недостаточностью укрѣпленія главнымъ образомъ объясняются случаи поврежденія искусственныхъ сооружений какъ одиночныхъ, такъ особенно групповыхъ; причемъ недостаточность укрѣпленія выражается зачастую не столько въ типѣ, сколько въ неисполненіи его на всемъ томъ протяженіи, гдѣ оно требуется. Этотъ

вопросъ о протяженности участковъ мостоваго русла, требующихъ укрѣпленія, разбирается въ главѣ XI.

Итакъ, послѣ распредѣленія общаго расхода водотока между групповыми отверстіями и опредѣленія скоростей теченія въ мостовыхъ руслахъ необходимо назначить для каждаго отверстія соответственное укрѣпленіе съ надлежащимъ запасомъ какъ въ отношеніи типа, такъ и въ отношеніи размѣровъ участковъ, гдѣ укрѣпленіе должно быть примѣнено.

Совокупность перечисленныхъ приѣмовъ при назначеніи групповыхъ отверстій, именно: расчетъ отверстія въ предположеніи, если бы оно было одиночнымъ, распредѣленіе расчетной длины отверстія по русламъ соответственно ихъ мощности, и по возможности равномерно по живому сѣченію потока, распредѣленіе общаго расхода водъ соответственно водопропускной способности групповыхъ отверстій и мощности ихъ руселъ, поправка распредѣленія водъ построеніемъ воронокъ и бугровъ съ проведеніемъ водораспределительныхъ линій, и наконецъ назначеніе съ надлежащимъ запасомъ укрѣпленій искусственныхъ сооружений—совокупность этихъ приѣмовъ въ каждомъ частномъ случаѣ можетъ обезпечить правильность назначенія групповыхъ отверстій и безопасность групповыхъ сооружений.

Въ отношеніи безопасности групповыхъ сооружений умѣстно еще вспомнить указаніе предыдущей главы о необходимости постоянно наблюдать за состояніемъ пересѣченныхъ руселъ, дабы предохранить ихъ отъ засоренія. Вообще, уменьшеніе водопропускной способности ни въ одномъ групповомъ отверстіи не должно быть допускаемо, такъ какъ оно влечетъ за собою перераспредѣленіе водъ съ увеличеніемъ общаго подпора и скоростей теченія во всѣхъ отверстіяхъ группы.

Надзоръ не долженъ ограничиваться только мостовыми руслами въ предѣлахъ струенаправляющихъ дамбъ, но долженъ обнимать значительный районъ потока вверхъ и внизъ отъ линіи пересѣченія на протяженіи воронки и бугра, дабы своевременно можно было устранить причины, кроющіяся внѣ мостовыхъ участковъ руселъ и подготовляющія крупныя измѣненія ихъ водопропускной способности. Кромѣ естественныхъ измѣненій

въ руслахъ потока могутъ быть измѣненія, происходящія подъ вліяніемъ искусственныхъ сооружений, каковы: запруды, отводы и т. д.; всѣ такія гидротехніческія сооружения должны быть поднадзорны и при ихъ проектированіи должны быть поставлены условія, обезпечивающія безопасность ранѣ построенныхъ мостовыхъ сооружений. При этомъ слѣдуетъ имѣть въ виду, что режимъ участка потока ниже отверстія оказываетъ на водопропускную способность отверстія не меньшее вліяніе, чѣмъ режимъ верховаго участка.

Можетъ встрѣтиться еще частный случай групповыхъ отверстій, когда нѣтъ общаго разлива, но имѣется группа взаимно связанныхъ руселъ (чер. 169. Л. LXXIV). Въ этомъ случаѣ размѣры отверстій на руслахъ должны быть опредѣлены подобно одиночнымъ отверстиямъ, исходя изъ пропускаемаго каждымъ русломъ расхода; но при этомъ также необходимо предупредить значительное перераспредѣленіе водъ между отверстиями. Въ рассматриваемыхъ условіяхъ воронки и бугры при отверстияхъ взаимно разъединены, и потому перераспредѣленіе водъ менѣе возможно, чѣмъ при общемъ разливѣ. Цѣлесообразной мѣрой для закрѣпленія опредѣленнаго распредѣленія водъ между разъединенными групповыми отверстиями представляется укрѣпленіе руселъ въ отверстияхъ и въ истокахъ рукавовъ во избѣжаніе ихъ размыва. При этомъ, подобно общему случаю остается необходимость постоянного наблюденія за состояніемъ руселъ, дабы своевременно устранить причины крупныхъ измѣненій ихъ водопропускной способности.

Заключеніе.

Изложенное относительно назначенія отверстій приводитъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

1) При назначеніи одиночныхъ отверстій должны быть соблюдаемы, по возможности, слѣдующія условія:

а) Переходъ черезъ потокъ долженъ быть назначаемъ въ болѣе узкомъ мѣстѣ, нормально къ направленію общаго теченія и къ направленію участка русла, на которомъ назначается отверстие.

б) Отверстіе должно быть располагаемо ближе къ серединѣ потока и центрально относительно всей площади его живаго сечения, на руслѣ обладающемъ въ предѣлахъ отверстія болѣею площадью живаго сечения и болѣею бытовымъ расходомъ.

в) Руслѣ, на которомъ назначается отверстіе, должно имѣть въ планѣ прямолинейное очертаніе, нормальное къ отверстію, на длину, по возможности, близкую къ протяженію воронки и бугра. Для достиженія этого условія уместны выправительныя работы.

г) Мостовое русло должно быть подвергнуто искусственной разработкѣ съ правильнымъ уклономъ, съ пологимъ выводомъ ея вверхъ и внизъ отъ отверстія и съ пологими откосами.

д) Полезныя работы по расширенію и углубленію русла на всемъ протяженіи воронки и бугра, а равно полезны резервы на поймы и работы по удаленію препятствій движенію воды (гривки, острова, заросли) въ предѣлахъ воронки и бугра. Резервы и регуляціонныя работы должны быть согласованы съ проектомъ струенуправляющихъ дамбъ.

е) Наибольшая скорость въ назначенномъ отверстіи опредѣляется, исходя изъ наибольшаго расхода потока и наивысшаго горизонта водъ, а потому для назначенія отверстія необходимо тщательное изученіе бытового режима путемъ непосредственныхъ наблюденій высокихъ водъ.

ж) Соотвѣтственно съ ожидаемой скоростью въ отверстіи и съ качествомъ и напластованіемъ грунтовъ ложа русла долженъ быть выбранъ типъ укрѣпленія мостовыхъ опоръ и струенуправляющихъ дамбъ и назначена протяженность участковъ, гдѣ укрѣпленіе должно быть примѣнено для надежнаго обезпеченія устойчивости сооруженій.

2) Групповыя отверстія, какъ подчиненныя закономерной взаимной зависимости въ ихъ водопропускной работѣ и безопасныя при надлежащемъ ихъ устройствѣ, и имѣютъ съ тѣмъ какъ обладающія по сравненію съ равновеликимъ одиночнымъ отверстіемъ болѣею водопропускной способностью и вызывающія благодаря этому меньшее нарушеніе бытового режима, съ меньшимъ подпоромъ и подтопомъ мѣстности, и съ сохраненіемъ за частями потока

ихъ промышленнаго значенія, должны быть предпочтительно назначаемы во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда мѣстные условія тому благоприятствуютъ, именно, при широкихъ разливахъ, при наличности двухъ или нѣсколькихъ руселъ, и когда одиночное отверстіе при рассчитанной длинѣ перекрыло бы не только главное русло, но и малодѣятельные береговые участки поймы или острова.

При назначеніи групповыхъ отверстій должны быть соблюдаемы слѣдующія условія:

а) Бытовой режимъ потока подлежитъ тщательному изученію путемъ непосредственныхъ наблюдений; это есть исходный пунктъ для правильнаго назначенія отверстій.

б) Переходъ долженъ быть назначаемъ въ болѣе узкомъ мѣстѣ разлива, нормально къ общему направленію теченія высокихъ водъ и къ направленію пересѣкаемыхъ участковъ руселъ. Пересѣкаемые участки руселъ, на которыхъ назначаются отверстія, должны быть въ планѣ прямолинейны, по возможности, на протяженіи воронки и бугра. Для достиженія этихъ условій умѣстны выправительныя работы по спрямленію и отводу руселъ. Въ тѣхъ же видахъ линія перехода можетъ имѣть изгибы въ планѣ.

в) Групповыя отверстія должны быть назначаемы на руслахъ, обладающихъ болѣею площадью живаго сѣченія и болѣеимъ бытовымъ расходомъ, и взаимно удаленныхъ настолько, чтобы расположеніе отверстій было, по возможности, равномерно по живому сѣченію потока и сообразовано съ ихъ водопропускной способностью. При болѣеи водопропускной способности отверстій умѣстно и болѣеи ихъ взаимное удаленіе.

г) Для назначенія на данномъ потокѣ разрывовъ групповыхъ отверстій слѣдуетъ предварительно рассчитать длину одиночнаго отверстія, и затѣмъ эту длину распределить между выбранными руслами соотвѣтственно ихъ мощности *).

*) Къ этому пункту долженъ быть присоединенъ еще пунктъ 7 заключенія изъ разбора конкретныхъ случаевъ переходовъ, выясняющій, что разрывъ каждаго групповаго отверстія долженъ быть сообразованъ съ мощностью соотвѣтственныхъ отводныхъ руселъ ниже линіи перехода въ томъ отношеніи, чтобы не произошло нежелательнаго размыва этихъ

Средняя скорость течения во всей группе отверстий и средний для всей группы подпоры при рациональном назначении отверстий будут всегда меньше, чем в случае одиночного отверстия. При назначении длины каждого отверстия в группе следует руководствоваться еще шириною меженных русел, а также тем положением, что на значительном потоке в группе не уместны малые отверстия, менее 15—20 саж.

е) Руслу, на которых назначены отверстия группы, должны быть при самом сооружении перехода подвергнуты возможно больше полной искусственной разработке с плавным выводом ее вверх и вниз от отверстия и с пологими откосами. Полезны работы по развитию русел на протяжении воронок и бугров, а равно полезны открытие резервов и работы по удалению препятствий движению воды в пределах воронок и бугров, каковы: гривки, острова, заросли. Резервы и регуляционные работы должны быть согласованы с проектом струенуправляющих дамб.

г) Распределение общего расхода потока между назначенными групповыми отверстиями может быть сделано приближенно в соответствии с их водопропускной способностью и с мощностью русел перекрытых отверстиями, исходя из тех положений, что общий расход распределяется между отверстиями в прямой зависимости от их водопропускной способности (от элементов ω_n и Q_n), и что отношения $\frac{S_n}{Q_n}$ зависят в обратной зависимости от мощности русел отверстий (от элементов Q_n и v_n).

Удельное распределение расхода должно быть подтверждено и исправлено планом ожидаемых воронок и бугров второго порядка и положением водораспределительных линий; для чего необходимо знание бытового режима и распределения воды в отдельных частях потока.

последних, или образования новых русел; поэтому, вслед за распределением общего расхода между групповыми отверстиями должен быть сделан расчет скорости протекания воды по существующим руслам и по линиям перехода, и в случае надобности должно быть назначено соответствующее их укрепление.

Чѣмъ меньшее перераспределение водъ противъ бытового режима вызываетъ данная группа отверстій, тѣмъ выгоднѣе она расположена.

При распределеніи общаго расхода должны быть учтены мѣстныя особенности участковъ разлива выше и ниже линіи перехода на протяженіи ожидаемыхъ воронокъ и бугровъ.

Въ случаѣ косаго пересѣченія потока должно быть при распределеніи расхода учтено наростаніе подпора передъ ниже-лежащими отверстіями и наростаніе вслѣдствіе того ихъ водо-пропускной работы.

г) Послѣ распределенія общаго расхода средняя скорость въ каждомъ данномъ отверстіи группы опредѣляется по обычной формулѣ:

$$u_n = \frac{S_n}{\mu \omega_n} \dots \dots \dots (40).$$

h) Въ соответствии съ выясненными скоростями теченія въ отверстіяхъ группы должно быть назначено для каждого отверстія укрѣпленіе русла съ надлежащимъ запасомъ.

При назначеніи укрѣпленія необходимо въ каждомъ случаѣ установить не только типъ, но и протяженность участковъ русла, гдѣ укрѣпленіе должно быть применено.

Размывъ групповыхъ руселъ вообще допустимъ; но слѣдуетъ имѣть въ виду, что неизбежное возрастаніе расхода при размывѣ групповаго русла должно имѣть послѣдствіемъ болѣеій размывъ, чѣмъ это было бы въ одиночномъ отверстіи, гдѣ расходъ при размывѣ остается постояннымъ. Поэтому, въ случаѣ допущенія размыва групповыхъ руселъ требуется осторожность и запасъ при назначеніи глубины заложенія опоръ и укрѣпленій для обезпеченія устойчивости групповыхъ сооружений.

Укрѣпленіе групповыхъ руселъ можетъ быть, въ соответствии съ качествомъ и напластованіемъ грунта и съ расположеніемъ опоръ, трехъ видовъ: а) сплошное укрѣпленіе всего мостоваго русла, б) укрѣпленіе опоръ и подошвъ струенаправляющихъ дамбъ и γ) укрѣпленіе только подошвъ струенаправляющихъ дамбъ. Во всѣхъ трехъ случаяхъ необходимо укрѣпленіе откосовъ струенаправляющихъ дамбъ.

Сплошное укрѣпленіе групповаго русла необходимо въ тѣхъ случаяхъ: а) когда по судоходнымъ или инымъ соображеніямъ недопустимо ослабленіе расхода въ какомъ-либо другомъ групповомъ руслѣ, причѣмъ въ этомъ послѣднемъ руслѣ укрѣпленіе не обязательно, или в) когда по роду грунта и расположенію опоръ размывъ даннаго русла не можетъ быть допущенъ. Въ прочихъ случаяхъ можетъ быть примѣняемо частичное укрѣпленіе опоръ и струенаправляющихъ дамбъ или только однихъ струенаправляющихъ дамбъ.

Укрѣпленіемъ руселъ можно достигнуть закрѣпленія въ извѣстныхъ предѣлахъ живыхъ свѣченій и водопропускной способности групповыхъ отверстій, и, слѣдовательно, постояннаго распредѣленія водъ между ними.

При надежномъ укрѣпленіи мостовыхъ руселъ, а равно въ соответственныхъ случаяхъ при обезпеченіи устойчивости опоръ и струенаправляющихъ дамбъ надежными частичными укрѣпленіями групповыя отверстія не могутъ представить какой-либо опасности.

і) Впредь до выработки приѣмовъ точнаго распредѣленія водъ между групповыми отверстіями можно рекомендовать устраивать при сооруженіи перехода постоянными болыіе мосты, меньшіе же мосты строить временнаго типа, съ тѣмъ чтобы перестроить ихъ на постоянные послѣ повѣрочныхъ наблюденій водъ, каковыя наблюденія безъ погрѣшности могутъ выяснитъ дѣйствительное распредѣленіе водъ.

к) Групповыя отверстія требуютъ надзора не только въ предѣлахъ мостовыхъ руселъ, но и во всемъ районѣ воронки и бузга, дабы предупредить измѣненіе установившагося режима и водопропускной способности отверстій.

л) При устройствѣ групповыхъ отверстій на взаимно связанныхъ руслахъ при отсутствіи разлива, размеры отверстій на каждомъ руслѣ опредѣляются въ соответствии съ пропускаемымъ расходомъ; при этомъ перераспредѣленіе водъ предупреждается укрѣпленіемъ руселъ въ отверстіяхъ и въ источкахъ рукавовъ.

3) *Сверхъ перечисленныхъ условій при выборѣ мѣста перехода черезъ потокъ какъ при одиночномъ, такъ и при групповыхъ отверстіяхъ должно быть учтено напластованіе грунтовъ въ руслахъ, на коихъ назначаются отверстія, а также качество верхняго грунтового слоя по всей линіи перехода.*

4) *Проекты гидротехническихъ сооружений воздвигаемыхъ на потокъ послѣ устройства перехода черезъ него, въ районѣ вліянія этого перехода, должны быть согласованы съ проектомъ перехода и должны быть поднадзорны со стороны агентовъ, заведывающихъ переходомъ.*

О назначеніи отверстій каменныхъ трубъ.

Каменные трубы представляютъ собою отверстія по существу отличающіяся отъ открытыхъ отверстій лишь тѣмъ, что бѣлшая длина устоевъ создаетъ дополнительную работу тренія, уменьшающую водопропускную способность отверстія; а потому все, что выше выяснено о выборѣ мѣста для перехода и о расположеніи отверстій относительно всего потока и пересѣкаемаго участка русла, а также о разработкѣ русла, выправительныхъ работахъ и объ укрѣпленіи русла выше и ниже отверстія, все это въ равной степени относится и къ трубамъ.

Ввиду этого въ отношеніи расположенія каменныхъ трубъ умѣстно замѣтить, что практикуемое иногда по экономическимъ соображеніямъ устройство отверстій на берегу оврага, гдѣ высота насыпи сравнительно мала, съ засыпкой нижней части оврага, является на основаніи вышеизложеннаго нераціональнымъ, такъ какъ такое устройство сопряжено съ рѣзкимъ нарушеніемъ бытового режима водотока и съ осложненіемъ водопропускной работы отверстія вслѣдствіе образованія несимметричной воронки, значительно бѣлшаго подпора и увеличенной скорости въ отверстіи.

Кромѣ того, въ отношеніи каменныхъ трубъ обращаетъ на себя вниманіе то противорѣчіе, какое существуетъ между сдѣланными въ гл. IX выводами изъ наблюденій водъ въ отношеніи водопропускной работы отверстій и существующей теоріей водопропускной работы каменныхъ трубъ и опредѣленія ихъ отверстій. Результаты наблюденій привели съ разныхъ сторонъ къ тому заключенію, что на водопропускную способность и

работу отверстій оказываютъ рѣшительное вліяніе не только расходъ, который надлежитъ пропустить, но также бытовья гидродинамическія свойства русла перекрытаго отверстіемъ и всего пересѣченнаго потока въ предѣлахъ воронки и бугра, а также расположеніе отверстія относительно русла и всего потока; а между тѣмъ, для опредѣленія отверстій каменныхъ трубъ примѣняется формула Бресса:

$$l = \frac{35.45 S}{u^3} \dots \dots \dots (41),$$

въ которую не входятъ ни бытовые гидродинамическіе элементы, ни вліяніе расположенія отверстія. Въ этой формулѣ:

S — полный расходъ, который долженъ быть пропущенъ отверстіемъ,

u — скорость назначаемая въ отверстіи,

l — искомое отверстие.

Слѣдовательно, достаточно знать только расходъ S , для того чтобы, задаваясь скоростью u въ трубѣ, опредѣлить по Брессу размѣръ отверстія трубы. Такъ это обычно и опредѣляется; причемъ, ввиду того, что въ формулу входятъ только двѣ величины S и u , составлена даже общая таблица 58, которая и примѣняется для опредѣленія отверстія трубъ во всѣхъ случаяхъ, независимо отъ мѣстныхъ условій. Напр., если расходъ составляетъ около 1.02 куб. саж., то *повсемѣстно* назначается каменная труба отв. 3.00 саж. при средней скорости 8'.2, или отв. 1.25 саж. при средней скорости 11'.4, или наконецъ отв. 0.50 саж. при средней скорости 15'.6.

Изучая формулу Бресса совмѣстно съ таблицей 58, легко усмотрѣть, что эта формула *предвидитъ опредѣленную глубину воды въ трубѣ въ соотвѣтствіи съ допущенной средней скоростью*. Дѣйствительно, такъ какъ отверстие по рассматриваемой формулѣ прямо пропорціонально расходу, то въ таблицѣ расходы распределены пропорціонально величинамъ отверстій; напримѣръ, расходъ 3-хъ саженной трубы въ три раза больше расхода 1 саженной при той же средней скорости:

$$1.024 = 3 \times 0.341,$$

$$2.559 = 3 \times 0.853,$$

$$6.557 = 3 \times 2.186;$$

ТАБЛИЦА 58

отверстій трубъ по формулѣ Бресса по соотвѣтствующимъ расходамъ при допущенной скорости по дну лотка.

П Р И:		Показаннымъ отверстиямъ трубъ соотвѣтствуютъ расходы по формулѣ Bress'a $l = \frac{35.45}{u^3} S.$										
допускае- мой скоро- сти по дну лотка W фут.	соотвѣт- ствующей средней скорости въ трубѣ и фут.	О т в е р с т і я т р у б ѣ.										
		0.50 с. (3'50).	0.75 с. (5'25).	1.00 с. (7'00).	1.25 с. (8'75).	1.50 с. (10'50).	1.75 с. (12'25).	2.00 с. (14'00).	2.25 с. (15'75).	2.50 с. (17'50).	2.75 с. (19'25).	3.00 с. (21'00).
		Р а с х о д ы к у б. с а ж е н ь.										
7'00	8'20	0.171	0.256	0.341	0.427	0.512	0.597	0.682	0.768	0.853	0.938	1.024
10'00	11'40	0.426	0.640	0.853	1.066	1.279	1.493	1.706	1.919	2.132	2.345	2.559
14'00	15'60	1.093	1.639	2.186	2.732	3.278	3.825	4.371	4.917	5.464	6.010	6.557

а это можетъ имѣть мѣсто лишь въ томъ случаѣ, если глубина воды во всѣхъ трубахъ при опредѣленной средней скорости одинакова. Эту общую для всѣхъ трубъ глубину, вытекающую изъ формулы Бресса, можно опредѣлить слѣдующимъ образомъ. Разсмотримъ сѣченіе трубы, которое лежитъ ниже входнаго участка, подверженнаго дѣйствию сжатія струи, иначе говоря, разсмотримъ сѣченіе трубы съ выправленнымъ, параллельноструйнымъ теченіемъ ($\mu \approx 1$). Въ такомъ сѣченіи расходъ:

$$S = \omega u = l \eta u,$$

гдѣ η — глубина воды въ сѣченіи; отсюда:

$$\eta = \frac{S}{lu} \dots \dots \dots (42).$$

Подставляя въ формулу (42) данныя таблицы 58, опредѣляемъ глубины воды въ трубѣ при разныхъ среднихъ скоростяхъ:

а) при допущенной средней скорости: $u = 8'.2 = 1.17 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$:

$$\eta = \frac{0.171}{0.50 \times 1.17} = \frac{1.024}{3.00 \times 1.17} = 0.29 \text{ саж.};$$

б) при допущенной средней скорости: $u = 11'.4 = 1.63 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$:

$$\eta = \frac{0.426}{0.50 \times 1.63} = \frac{2.559}{3.00 \times 1.63} = 0.52 \text{ саж.};$$

с) при допущенной средней скорости: $u = 15'.6 = 2.23 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$:

$$\eta = \frac{1.093}{0.50 \times 2.23} = \frac{6.557}{3.00 \times 2.23} = 0.98 \text{ саж.}$$

Къ тѣмъ же выводамъ можно придти инымъ путемъ. По Брессу:

$$\eta = \frac{2}{3} (y + \delta) \text{ и } u = \sqrt{2g (y + \delta - \eta)};$$

изъ сопоставленія этихъ выраженій получается:

$$\eta = \frac{u^2}{g} \dots \dots \dots (43).$$

Такимъ образомъ, изъ формулы Бресса вытекаетъ, что во всѣхъ трубахъ, гдѣ бы таковыя ни были сооружены, должна быть обязательно одинаковая глубина воды въ соотвѣтствіи съ допущенными скоростями; именно,

глубина воды въ трубѣ: $\eta = 0.29; \quad 0.52; \quad 0.98 \text{ саж.}$

при средней скорости: $u = 1.17; \quad 1.63; \quad 2.23 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$

Совершенно понятно, что выполненіе этого условія опредѣленной, обязательной глубины воды въ трубѣ въ соотвѣтствіи съ допущенной скоростью можетъ встрѣтиться на практикѣ лишь въ видѣ исключенія; въ общемъ же случаѣ глубина воды при любой допущенной скорости въ разныхъ трубахъ можетъ быть различна въ соотвѣтствіи съ мѣстными условіями. Сопоставимъ два случая перехода черезъ водотоки съ одинаковыми расходами S , съ одинаковыми бытовыми средними скоростями, но съ разными бытовыми глубинами (чер. 182. Л. LXXX). Отверстія

обѣихъ трубъ одинаковы и трубы работаютъ какъ затопленные водосливы съ порогомъ не поднятымъ надъ дномъ русла. При такихъ условіяхъ, когда S и l одинаковы, по формулѣ Бресса должны бы въ обоихъ случаяхъ установиться равныя скорости u , а слѣдовательно должны бы установиться и равныя глубины воды въ трубахъ. Но этого въ дѣйствительности не можетъ произойти. Въ первомъ случаѣ русло перекрытое отверстиемъ обладаетъ бѣльшей мощностью, и отверстие обладаетъ бѣльшей водопропускной способностью, вслѣдствіе чего отношеніе $\frac{S}{Q}$ и значеніе подпора h сравнительно малы, во второмъ же случаѣ—сравнительно велики; а потому въ первомъ случаѣ приращеніе скорости мало, а во второмъ—велико; и такъ какъ бытовыя среднія скорости въ обоихъ случаяхъ были одинаковы, то въ первомъ случаѣ вода въ трубѣ будетъ проходить при большой глубинѣ со скоростью мало возросшею противъ бытовыхъ условій, а во второмъ случаѣ при сравнительно малой глубинѣ съ большою скоростью. Глубины въ обѣихъ трубахъ при равенствѣ расходовъ ни въ какомъ случаѣ сравняться не могутъ, такъ какъ скорость во второй трубѣ будетъ больше скорости въ первой трубѣ. Въ предѣлѣ, когда водотокъ настолько узокъ, что труба перваго случая перекрываетъ его полностью, отношеніе $\frac{S}{Q} = 1$, никакого подпора и увеличенія бытовой скорости въ трубѣ не произойдетъ. Такимъ образомъ, *въ дѣйствительности должно получиться явленіе обратное тому, что даетъ формула Бресса, по которой глубины воды въ трубахъ тѣмъ больше, чѣмъ больше скорости.*

При значительныхъ бытовыхъ глубинахъ потока по формулѣ Бресса могутъ получиться глубины въ трубахъ даже меньше бытовыхъ глубинъ, что явно указываетъ на невѣрность формулы. Глубина воды въ отверстіяхъ и въ томъ числѣ въ каменныхъ трубахъ во всѣхъ случаяхъ, кромѣ случая истеченія въ воздухъ, должна быть больше бытовой глубины на высоту низоваго воднаго бугра, такъ какъ по выходѣ изъ отверстія вода разливается бугромъ до бытоваго горизонта, какъ это выяснено въ гл. IX. Явленіе низоваго бугра ниже каменныхъ трубъ въ дѣйствительности уже было замѣчено; такъ, Инж.

Голиневичъ *), называетъ его „перепадомъ у выходнаго порога трубы“.

Обнаруживаемое несоотвѣтствіе формулы Бресса дѣйствительности объясняется тѣми допущеніями, при которыхъ она выведена. Исходнымъ положеніемъ Брессъ принялъ неограниченную длину трубы и такимъ образомъ игнорировалъ вліяніе слива воды изъ трубы въ бытовое русло. Благодаря этому положенію упростился выводъ формулы; но вмѣстѣ съ тѣмъ работа трубы была поставлена въ условія отличныя отъ дѣйствительности, такъ какъ длина трубы подъ полотномъ дорогъ въ большинствѣ случаевъ слишкомъ мала для того, чтобы проходъ воды въ ней не зависѣлъ отъ свойствъ потока по выходѣ изъ трубы. Вода изъ отверстія сливается въ бытовое русло, какъ уже извѣстно, въ видѣ бугра, ниже котораго на нѣкоторомъ разстояніи отъ отверстія устанавливается бытовой режимъ. Съ этимъ бытовымъ режимомъ неразрывно связаны условія прохода воды во всякомъ отверстіи, а также въ трубѣ, и въ томъ числѣ глубина воды въ ней, кромѣ частнаго случая истеченія воды изъ трубы въ воздухъ въ видѣ водопада. По теоріи же Бресса глубина воды въ трубѣ η , въѣ зависимости отъ бытовой глубины потока, всегда должна равняться $\frac{2}{3}$ глубины подпертой воды y передъ трубою, увеличенной на высоту δ , соотвѣтствующую скорости притеканія (чер. 185/294 **) Л. LXXX):

$$\eta = \frac{2}{3} (y + \delta) \dots \dots \dots (44),$$

$\delta = \frac{u_1^2}{2g}$, если u_1 — скорость притекающей воды.

При этомъ, глубина воды передъ трубою y въ разсматриваемой теоріи также не поставлена въ зависимость отъ бытовой глубины потока и отъ стѣсненія созданнаго отверстіемъ, а опредѣляется въ зависимости отъ допущенной скорости u въ трубѣ:

$$y = \frac{3u^2}{2g} - \delta \dots \dots \dots (45)$$

при $\delta = 0$, $y = 0.04658 u^2$.

*) „Отверстія для пропуска текучихъ водъ“. Н. И. Голиневичъ 1896 г.

**) Чер. 185 извлеченъ изъ „Мостовъ“ Проф. Л. Ф. Николаи, гдѣ этотъ чертежъ находится подъ № 294.

Соотношеніе (44) между η и $(y + \delta)$ выведено изъ условія наивыгоднѣйшей водопропускной работы трубы, не считаясь съ тѣмъ, могутъ ли установиться въ соотвѣтствіи съ бытовымъ режимомъ потока и съ размѣромъ отверстія глубины y и η передъ отверстіемъ и въ отверстіи.

Изъ изложеннаго видно, что способъ Бресса заключается въ слѣдующемъ: задается скорость теченія воды въ трубѣ, затѣмъ подбираются такія глубины y и η передъ отверстіемъ и въ отверстіи, которыя удовлетворяли бы условію (44) и при которыхъ, по нѣкоторой теоретической формулѣ, (которая разбирается дальше), должна развиться въ трубѣ заданная скорость u ; наконецъ, зная подобранную глубину η и скорость u опредѣляютъ для даннаго расхода S отверстіе l по формулѣ:

$$l = \frac{S}{\mu \eta u} \dots \dots \dots (46).$$

Послѣ подстановки въ формулу (46) значеній μ и η эта формула принимаетъ обычный видъ приведенной выше формулы Бресса (41). *Такимъ образомъ, формула Бресса есть результатъ рѣшенія математической задачи, не имѣющей связи съ дѣйствительными условіями прохода воды черезъ трубу поставленную на данномъ водотокѣ подѣ плотномъ дорогѣ.* Вотъ причина, почему по формулѣ Бресса предполагается во всѣхъ трубахъ опредѣленная глубина при опредѣленной допущенной скорости теченія, и почему эта формула не можетъ давать вѣрныхъ результатовъ въ условіяхъ дѣйствительности, особенно въ обычномъ случаѣ работы трубы, какъ затопленнаго водослива.

Остается еще присовокупить, что та теоретическая формула, которую Брессъ выражаетъ соотношеніе между скоростью въ трубѣ u и разностью глубинъ y и η , не можетъ дать вѣрныхъ результатовъ. За выраженіе расхода воды въ трубѣ Брессъ принимаетъ:

$$S = \mu l \eta \sqrt{2g (y + \delta - \eta)} \dots \dots \dots (47),$$

Первая производная этого выраженія и приравнивается 0 для вывода соотношенія (44).

Изъ уравненія (47) видно, что средняя однообразная скорость протеканія воды въ трубѣ принята:

$$u = \sqrt{2g (y + \delta - \eta)} \dots \dots \dots (48).$$

Уравненіе (48) есть выраженіе скорости, которую развиваетъ свободно падающее тѣло при паденіи съ горизонта $(y + \delta)$ до горизонта η . Слѣдовательно, движеніе воды приравнено къ паденію свободно падающаго тѣла, что, разумѣется, не соотвѣтствуетъ дѣйствительности, такъ какъ при движеніи воднаго потока, особенно же при рѣзкомъ измѣненіи его режима, сопровождающемъ стокъ воды въ отверстіе, происходятъ значительныя сопротивленія движенію, которыя поглощаютъ вѣроятно большую часть высоты паденія воды. А потому, принятое въ формулѣ (48) соотношеніе между скоростью въ трубѣ и разностью горизонтовъ подпорнаго и въ трубѣ не можетъ соотвѣтствовать дѣйствительности; для развитія заданной скорости въ трубѣ должна образоваться бѣлая разнища горизонтовъ, чѣмъ даетъ формула (48). Эта причина въ свою очередь еще удаляетъ формулу Бресса отъ дѣйствительности.

По изложеннымъ причинамъ примѣненіе формулы Бресса для расчета отверстій каменныхъ трубъ, вообще говоря, не уместно, и имѣетъ хотя нѣкоторое основаніе только въ томъ частномъ случаѣ, когда труба работаетъ какъ затопленный водосливъ.

Слѣдуетъ замѣтить, что пріемъ примѣненный Брессомъ былъ примѣненъ также Буссинекъ въ его теоріи водослива. При выводѣ формулы расхода черезъ водосливъ Буссинекъ исходилъ также изъ постулата, что разность горизонтовъ передъ водосливомъ и на водосливѣ устанавливается такихъ размѣровъ, что количество переливающейся воды есть maximum. Положеніе это не подлежитъ сомнѣнію и не требуетъ доказательства. Но при выводѣ соотношенія между глубинами воды передъ водосливомъ и на водосливѣ Буссинекъ имѣлъ основаніе игнорировать бытовой режимъ потока только потому, что разбиралъ случай *большаго* водослива на потокъ значительной ширины и глубины, *когда* бытовой режимъ потока теряетъ главную часть своего *вліянія* на работу водослива; на случай же затопленнаго водослива, тотъ же пріемъ распространимъ лишь до тѣхъ поръ,

пока уровень воды въ отводномъ руслѣ (низовой подпорѣ) не вызоветъ увеличенія средней глубины потока на водосливѣ по сравненію съ случаемъ не затопленного порога. Слѣдуетъ замѣтить, что возможность такого сочетанія обстоятельствъ, чтобы затопленіе порога водослива не вліяло на его водопропускную работу, по существу мало вѣроятна; во всякомъ случаѣ, насколько неумѣстно распространеніе приѣма расчета водопропускной работы незатопленного водослива на отверстія искусственныхъ сооружений, работающихъ при обычномъ истеченіи, т. е. съ затопленнымъ дномъ русла, видно изъ того, что такой приѣмъ привелъ Инж. Вислоцкаго *) къ недопустимому выводу о возможности получить въ отверстіи среднюю скорость равную средней бытовой скорости потока при условіи значительнаго стѣсненія его мостомъ и при отсутствіи размыва. Слѣдуя тому же методу, Инж. Вислоцкій могъ бы получить среднюю скорость въ отверстіи не только равную, но даже уменьшенную противъ бытовой средней скорости **). Невѣрность такихъ выводовъ очевидна сама собою и она обнаруживается, что предлагаемая Инж. Вислоцкимъ формулы для расчета отверстій, по существу тождественные съ формулой Бресса, являются не приемлемыми.

Для обычнаго случая водопропускной работы каменной трубы изъ существующихъ формулъ съ болѣе основаніемъ, чѣмъ формула Бресса, можетъ служить формула неполнаго водослива, примѣняемая для открытыхъ отверстій ***):

$$l = \frac{s}{\mu \sqrt{2g} \left\{ \frac{2}{3} [(h + \delta)^{3/2} - \delta^{3/2}] + a(h + \delta)^{1/2} \right\}} \dots (49).$$

*) Стр. 122, кн. 5, Жур. М. П. С. 1901 г. „О неудовлетворительности гидравлическихъ формулъ.....“ 5-й примѣръ.

**) Въ самомъ дѣлѣ, назначая въ примѣрѣ 5-мъ (стр. 122, кн. 5 Журн. М. П. С. 1901 г.) отверстіе вмѣсто 3.20 саж. нѣсколько болѣе, напр. 3.5 саж., получимъ по приѣму Инж. Вислоцкаго среднюю скорость въ отверстіи: $u = \sqrt[3]{\frac{Qg}{l}} = \sqrt[3]{\frac{1.2 \times 4.6}{3.5}} = \sqrt[3]{1.58} = 1.17 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}} < 1.20$, гдѣ $1.2 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ есть средняя бытовая скорость потока. Такой результатъ, разумѣется, ошибоченъ.

***) Обозначенія въ формулѣ (49) неполнаго водослива измѣнены противъ обычно принимаемыхъ ради того, чтобы избѣжать совпаденія обозначеній разныхъ элементовъ.

Формула (49) имѣетъ связь съ бытовою глубиною потока a и потому ближе къ дѣйствительности, чѣмъ формула Бресса, хотя и въ ней есть серьезныя погрѣшности, такъ какъ она составлена между прочимъ въ слѣдующихъ предположеніяхъ, не отвѣчающихъ дѣйствительности: а) полный подпоръ образуется непосредственно передъ отверстіемъ, б) слой воды на высоту подпора сливается въ воздухъ и с) скорость движенія воды въ потокъ развивается по закону свободнаго паденія тѣла. Вслѣдствіе совокупности этихъ предположеній формула (49) должна давать преувеличенные результаты для расхода S черезъ водосливъ и, слѣдовательно, преуменьшенные результаты для потребнаго отверстія l *); но все же по этой формулѣ отверстія получаются, какъ видно изъ дальнѣйшаго, большихъ размѣровъ, чѣмъ по формулѣ Бресса.

Для вывода точной формулы для расчета отверстій каменныхъ трубъ, и вообще отверстій съ прямоугольнымъ живымъ сѣченіемъ, въ которыхъ не допускается размыва дна, могутъ служить слѣдующія соображенія, составленные въ согласіи съ природою явленія прохода воды черезъ отверстія, насколько это явленіе выяснено въ гл. IX.

Изъ гл. IX извѣстно, что проходъ воды черезъ отверстія сопровождается явленіемъ водныхъ воронокъ и бугровъ, и что горизонтъ воды въ отверстіи, въ выходномъ его концѣ, превышаетъ соотвѣтственный бытовой горизонтъ на высоту бугра. Если назовемъ высоту бугра, т. е. возвышеніе водной поверхности въ выходномъ концѣ отверстія надъ соотвѣтственной бытовой поверхностью, черезъ Δa , то слой воды въ выходномъ концѣ трубы:

$$\eta = a + \Delta a \dots \dots \dots (50),$$

гдѣ a — соотвѣтственная глубина воды въ бытовыхъ условіяхъ.

*) Къ тому же заключенію въ отношеніи формулы (49) пришелъ Инж. Вислоцкій (стр. 131, кн. 3-я Журн. М. П. С. 1901 г. „О неудовлетворительности гидравлическихъ формулъ“).

Затѣмъ, если рабочую площадь живаго сѣченія въ выходномъ концѣ отверстія обозначить черезъ ω_n , то величина отверстія l опредѣляется изъ уравненія:

$$l = \frac{\omega_n}{\eta} \dots \dots \dots (51).$$

Наконецъ, расходъ S въ отверстіи при допущенной средней скорости u опредѣляется:

$$S = \mu \omega_n u \dots \dots \dots (52).$$

Сопоставляя уравненія (50), (51) и (52) получаемъ:

$$l = \frac{\omega_n}{\eta} = \frac{\omega_n}{a + \Delta a} = \frac{S}{\mu u (a + \Delta a)}.$$

Для вывода этой формулы разсмотрѣно сѣченіе въ выходномъ концѣ отверстія по той причинѣ, что тамъ глубина воды меньшая, чѣмъ во входномъ концѣ, а слѣдовательно средняя скорость теченія больше, чѣмъ во входномъ концѣ. Явленіе нѣкотораго пониженія водной поверхности въ средней части отверстія, гдѣ по принятой терминологіи наблюдается „кажущійся подпоръ“, можетъ быть по его сравнительной ничтожности игнорировано.

Итакъ, величина отверстій съ прямоугольнымъ живымъ сѣченіемъ, въ которыхъ не допускается размывъ, не исключая и трубъ, опредѣляется изъ слѣдующей точной формулы:

$$l = \frac{S}{\mu u (a + \Delta a)} \dots \dots \dots (53),$$

- гдѣ
- l — искомое чистое отверстие,
 - S — полный расходъ потока, который долженъ быть взять съ надежнымъ, но не преувеличеннымъ запасомъ,
 - μ — коэффициентъ расхода,
 - u — допущенная средняя скорость въ отверстіи,
 - a — соотвѣтственная бытовая глубина потока въ сѣченіи отверстія,
 - Δa — приращеніе бытовой глубины, равное высотѣ бугра,
 - $(a + \Delta a)$ — глубина воды въ выходномъ концѣ отверстія.

Такимъ образомъ, для точнаго опредѣленія отверстія съ прямоугольнымъ живымъ сѣченіемъ въ случаѣ недопущенія размыва дна, при допущенной средней скорости u , необходимо знать полный расходъ потока S , принятый съ надлежащимъ, обеспеченнымъ запасомъ, соотвѣтственную бытовую глубину потока a и приращеніе Δa этой глубины въ выходномъ концѣ отверстія.

Величина u можетъ быть назначена, и величины S и a могутъ быть опредѣлены для любого частнаго случая безъ затрудненія по существующимъ способамъ; что же касается послѣдней величины Δa , то изъ результатовъ главы IX, которая посвящена изученію явленій водныхъ воронокъ и бугровъ, извѣстно, что высота воднаго бугра:

$$\Delta a = f_4 \left(\gamma, v_0, Q, i, \frac{S}{Q} \right) \dots \dots \dots (35).$$

Для выясненія этой функціи съ неопредѣленной зависимостью элементовъ, необходимо дальнѣйшее изученіе водныхъ воронокъ и бугровъ, и когда въ результатъ изученія явится возможность для любого случая съ достаточнымъ приближеніемъ вычислять высоту Δa , тогда формула (53) получитъ практическое значеніе и по ней можно будетъ точно опредѣлять отверстія мостовъ и трубъ. Такимъ образомъ, еще разъ подтверждается необходимость дальнѣйшаго изученія по намѣченному пути явленія прохода водъ черезъ отверстія.

Однако-жъ и нынѣ представляется возможнымъ пользованіе формулой (53) въ двухъ видоизмѣненіяхъ (54) и (55). Если принять $\Delta a = 0$, т. е. предположить, что въ выходномъ концѣ отверстія толщина слоя воды осталась бытовая, то формула (53) принимаетъ видъ:

$$l = \frac{S}{\mu u a} \dots \dots \dots (54).$$

Въ формулѣ (54) всѣ элементы S , μ , u и a для каждого частнаго случая извѣстны, а потому расчетъ отверстія по ней не встрѣчаетъ затрудненія. Но эта формула во всѣхъ случаяхъ даетъ запасъ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе подпоръ, образован-

ный стѣсненіемъ потока и чѣмъ подпорная линія ближе подходитъ къ отверстію, иначе говоря, чѣмъ больше отношеніе $\frac{S}{Q}$ и чѣмъ меньше бытовая мощность русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ. Принимая во вниманіе, что излишній запасъ вообще не умѣстенъ, приходимъ къ тому заключенію, что формула (54) можетъ быть примѣняема для большихъ отверстій съ прямоугольнымъ живымъ сѣченіемъ, въ которыхъ, по сравненію съ малыми отверстіями, отношеніе $\frac{S}{Q}$ сравнительно мало и бытовая мощность русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ сравнительно велика. Въ этихъ случаяхъ формула (54) не введетъ большихъ запасовъ.

Для малыхъ же отверстій и въ томъ числѣ для трубъ формула (53) можетъ быть нынѣ примѣняема въ видѣ (55), въ которомъ, какъ видно изъ дальнѣйшаго, она будетъ давать почти тѣ же результаты, что и обычно примѣняемая формула (49) неполнаго водослива, имѣющая сравнительно сложный видъ. Если Δa принять равнымъ $\frac{2}{3} h$, гдѣ h — обычно опредѣляемый подпоръ по формулѣ $h = \frac{u^2 - u_1^2}{2g}$, т. е. если предположить, что вода въ выходномъ концѣ отверстія проходитъ слоемъ, превышающимъ соотвѣтственную бытовую глубину на $\frac{2}{3} h$, то формула (53) принимаетъ видъ (55):

$$l = \frac{S}{\mu u \left(a + \frac{2}{3} h \right)} \dots \dots \dots (55).$$

Къ этому же виду, съ малой погрѣшностью, можетъ быть приведена и формула (49) неполнаго водослива:

$$l = \frac{S}{\mu \sqrt{2g} \left\{ \frac{2}{3} \left[(h + \delta)^{3/2} - \delta^{3/2} \right] + a (h + \delta)^{1/2} \right\}} \dots (49).$$

Здѣсь:

$$h = \frac{u^2 - u_1^2}{2g},$$

$$\delta = \frac{u_1^2}{2g},$$

$$h + \delta = \frac{u^2 - u_1^2 + u_1^2}{2g} = \frac{u^2}{2g} \dots \dots \dots (56).$$

Подставляя въ формулу (49) значеніе $h + \delta$ изъ выраженія (56), имѣемъ:

$$\begin{aligned} l &= \frac{S}{\mu \sqrt{2g} \left\{ \frac{2}{3} \left[\left(\frac{u^2}{2g} \right)^{3/2} - \left(\frac{u_1^2}{2g} \right)^{3/2} \right] + a \left(\frac{u^2}{2g} \right)^{1/2} \right\}} = \\ &= \frac{S}{\mu \sqrt{2g} \left\{ \frac{2}{3} \left[\frac{u^3 - u_1^3}{2g \sqrt{2g}} \right] + a \frac{u}{\sqrt{2g}} \right\}} = \\ &= \frac{S}{\mu \left\{ \frac{2}{3} \left[\frac{u^2 u - u_1^2 u_1}{2g} \right] + a u \right\}}. \end{aligned}$$

Если въ полученномъ выраженіи ($u_1^2 u_1$) принять равнымъ ($u_1^2 u$), то этимъ введется несущественное измѣненіе результата, и притомъ въ сторону запаса отверстія. Въ такомъ случаѣ:

$$\begin{aligned} l &= \frac{S}{\mu \left\{ \frac{2}{3} u \left[\frac{u^2 - u_1^2}{2g} \right] + a u \right\}} = \\ &= \frac{S}{\mu \left\{ \frac{2}{3} u h + a u \right\}} = \frac{S}{\mu u \left\{ a + \frac{2}{3} h \right\}} \dots \dots \dots (55). \end{aligned}$$

Для опредѣленія входящей въ формулы (49) и (55) величины $h = \frac{u^2 - u_1^2}{2g}$, за u_1 обычно принимаютъ бытовую среднюю скорость всего потока, уменьшенную соотвѣтственно съ увеличеніемъ живаго сѣченія подѣ влияніемъ добавочной высоты h :

$$u_1 = v_0 \frac{\Omega}{\Omega'} \dots \dots \dots (57),$$

гдѣ v_0 — средняя бытовая скорость потока;

Ω — площадь бытоваго живаго сѣченія всего потока, и

Ω' — та же площадь, увеличенная на высоту h .

Для сравненія между собою формулъ (49), (54) и (55) взято 6 частныхъ случаевъ расчета отверстій каменныхъ трубъ. Результаты расчета приведены въ вѣдомости 59.

Эта вѣдомость подтверждаетъ, что формула (55) даетъ результаты весьма близкіе къ формулѣ неполнаго водослива (средняя расходиость для рассмотрѣнныхъ 6-ти случаевъ только 3%), съ отклоненіемъ въ сторону запаса отверстія, и что формула (54)

РАСЧЕТНАЯ

отверстій каменныхъ трубъ по обычно примѣняемой формулѣ
деннымъ форму

№ по порядку.	Наибольшій расходъ S куб. саж.	Бытовая площадь живаго сѣченія потока Ω кв. саж.	Бытовая средняя скорость v_0 саж./сек.	Наибольшая бытовая глубина потока a саж.	Допущенная скорость въ со- оруженіи:		$h_1 = \frac{u^2 - v_0^2}{2g}$	$a + h_1$	Ширина потока b въ саж.	Площадь живаго сѣченія увеличенная на h_1 : $\Omega' = \Omega + b \times h_1$ кв. саж.
					по дну лотка	средняя и				
					саж./сек.					
1	0.98	0.825	1.19	0.30	2.00	2.23	0.387	0.687	5.70	3.03
2	4.686	2.203	2.127	0.68	2.00	2.23	0.0487	0.729	6.78	2.53
3	4.469	9.196	0.486	0.54	2.00	2.23	0.514	1.054	35.92	27.66
4	0.394	0.55	0.715	0.185	1.00	1.17	0.093	0.278	5.94	1.10
5	5.38	2.96	1.82	0.72	2.00	2.23	0.180	0.90	8.21	4.44
6	1.184	0.822	1.44	0.65	2.00	2.23	0.315	0.965	2.53	1.62

ВѢДОМОСТЬ 59

Бресса, по формулѣ неполнаго водослива и по вновь выведеннымъ (54) и (55).

Средняя скорость притока къ отверстию $u_1 = \frac{Q}{S}$ сек. сек.	$h = \frac{u^2 - u_1^2}{2g}$.	$\delta = \frac{u_1^2}{2g}$.	Коэффициент μ .	Отверстіе трубы:			
				по Брессу в. фу- тахъ $l = \frac{85.45 S}{u^3}$.	по формулѣ неполнаго водослива	по формулѣ (56)	по формулѣ (54)
					$l = \frac{S}{\mu \sqrt{2g} \left\{ \frac{2}{3} [(h+\delta)^{3/2} - \delta^{3/2}] + a (h+\delta)^{1/2} \right\}}$	$l = \frac{S}{\mu u \left(a + \frac{2}{3} h \right)}$.	$l = \frac{S}{\mu a}$.
l въ саженьяхъ.							
0.323	0.529	0.011	0.90	0.45	0.74	0.75	1.60
1.852	0.167	0.372	0.90	2.14	2.80	2.93	3.43
0.161	0.537	0.003	0.90	2.04	2.47	2.48	4.12
0.358	0.135	0.014	0.90	1.15	1.33	1.36	2.02
1.311	0.381	0.159	0.90	2.46	2.62	2.74	3.72
0.731	0.482	0.058	0.90	0.54	0.59	0.60	0.90
Сумма отверстій.				8.78	10.55	10.86	15.79

не можетъ быть примѣняема для малыхъ отверстій, такъ какъ даетъ преувеличенные результаты. Въмѣстѣ съ тѣмъ вѣдомость 59 указываетъ, что по Брессу отверстія получаютъ преуменьшенныя по сравненію съ формулой неполнаго водослива отъ 6 до 40% и въ среднемъ для рассмотрѣнныхъ 6-ти случаевъ на 17%. Этотъ послѣдній результатъ вѣдомости 59 обращаетъ на себя особое вниманіе и указываетъ на недостаточность размѣровъ трубъ ограниченныхъ результатами полученными по форм. Бресса, такъ какъ дополнительная работа тренія въ трубахъ вслѣдствіе ихъ болѣе-шей длины по сравненію съ открытыми мостиками, понижаетъ водопропускную способность трубъ, а потому отверстія трубъ при прочихъ равныхъ условіяхъ не должны быть меньше отверстій открытыхъ мостиковъ. Что касается вліянія длинныхъ устоевъ трубъ на выправленіе струй и уменьшеніе сжатія, то это должно быть достигаемо при всѣхъ отверстіяхъ струена-правляющими дамбами раціональной формы, а потому въ этомъ отношеніи трубы не имѣютъ преимуществъ передъ открытыми мостиками.

Заключеніе.

На основаніи изложеннаго въ настоящей статьѣ приходимъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

1) Формула Бресса есть результатъ рѣшенія математической задачи, не имѣющей общаго съ дѣйствительными условіями прохода воды черезъ каменные трубы, сооружаемыя подъ полотномъ дорогъ; а потому, примѣненіе этой формулы для опредѣленія отверстій трубъ не умѣстно, тѣмъ болѣе, что она даетъ вообще преуменьшенныя результаты, а въ частныхъ случаяхъ преуменьшеніе достигаетъ большаго процента.

Нѣкоторое основаніе примѣненія формулы Бресса имѣетъ только въ томъ частномъ случаѣ, когда каменная труба работаетъ какъ не затопленный водосливъ.

2) При обычныхъ условіяхъ работы каменныхъ трубъ съ болѣе-шимъ основаніемъ можетъ быть примѣняема для расчета ихъ отверстій формула неполнаго водослива, по которой рассчитываются

отверстія открытых мостиковъ, и которая даетъ размеры отверстій большіе, чѣмъ формула Бресса и болѣе близкіе къ вѣрнымъ.

3) Точная формула для опредѣленія величины отверстій съ правильнымъ прямоугольнымъ живымъ сѣченіемъ, въ которыхъ не допускается размывъ дна, имѣетъ видъ:

$$l = \frac{S}{\mu u (a + \Delta a)} \dots \dots \dots (53),$$

гдѣ S — полный расходъ потока, принятый съ надежнымъ, но не преувеличеннымъ запасомъ;

μ — коэффициентъ расхода, который зависитъ не только отъ очертанія быковъ, но какъ выяснено въ гл. XII, находится въ зависимости отъ размеровъ пролетовъ отверстія и, какъ выяснено въ гл. XI, находится въ зависимости отъ формы струенаправляющихъ дамбъ; при наличности рациональныхъ струенаправляющихъ дамбъ значеніе коэффициента μ можетъ быть принимаемо больше, чѣмъ при отсутствіи дамбъ, или при нерациональной ихъ формѣ; при большихъ пролетахъ значеніе коэффициента μ должно быть принимаемо больше, чѣмъ при малыхъ пролетахъ; при большихъ пролетахъ въ присутствіи рациональныхъ струенаправляющихъ дамбъ коэффициентъ μ долженъ быть близокъ къ единицѣ;

u — допущенная средняя скорость въ отверстіи;

a — соответственная бытовая глубина потока въ сѣченіи отверстія;

Δa — приращеніе бытовой глубины, равное высотъ воднаго бугра.

Формула (53) можетъ найти примѣненіе на практикѣ лишь послѣ того, какъ дальнѣйшее изученіе явленія водныхъ воронокъ и бугровъ приведетъ къ обращенію функціи (35), опредѣляющей Δa , въ явную функцію.

4) Въ настоящее время, впредь до выясненія функціи (35), могутъ быть примѣняемы для опредѣленія отверстій каменныхъ трубъ и вообще отверстій съ прямоугольнымъ живымъ сѣченіемъ, въ которыхъ не допускается размывъ дна, двѣ формулы:

а) Для больших отверстій, въ которыхъ отношеніе $\frac{s}{Q}$ мало и мощность русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ велика:

$$l = \frac{s}{\mu \text{ и } a} \dots \dots \dots (54).$$

Эта формула даетъ запасъ въ величинѣ отверстія тѣмъ болѣе, чѣмъ больше отношеніе $\frac{s}{Q}$ и чѣмъ меньше мощность русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ.

б) Для малыхъ отверстій:

$$l = \frac{s}{\mu \text{ и } (a + \frac{2}{3}h)} \dots \dots \dots (55),$$

$$\text{гдѣ } h = \frac{u^2 - u_1^2}{2g},$$

u_1 — средняя скорость притеканія къ отверстію.

Формула (55) даетъ во всѣхъ случаяхъ почти тотъ же результатъ, что и формула неполнаго водослива; и потому, какъ болѣе простая, форм. (55) можетъ примѣняться также при расчетѣ открытыхъ мостиковъ.

5) Принимая во вниманіе, что въ отверстіяхъ до 3-хъ саж. какъ трубъ, такъ и мостиковъ не представляетъ затрудненій устройство каменныхъ лотковъ, является не экономичнымъ назначеніе въ такихъ отверстіяхъ малыхъ среднихъ скоростей (напр. $u = 1.17$ с.), такъ какъ этимъ безъ нужды увеличиваются размеры и стоимость сооруженій.

Однако-жѣ, при выборѣ допускаемой скорости и исчисленія сравнительной стоимости сооруженія необходимо принять во вниманіе, что, согласно указанію гл. XI, лотокъ, соответствующій допущенной скорости, долженъ быть устроенъ не только въ предѣлахъ самого сооруженія, какъ это обычно дѣлается, но также выше и ниже его на длину не меньшую длины рационально построенныхъ струенаправляющихъ дамбъ, каковыя являются необходимой принадлежностью малыхъ отверстій.

Допущеніе малыхъ скоростей въ малыхъ отверстіяхъ и увеличеніе такимъ путемъ ихъ размеровъ уместно въ тѣхъ случаяхъ, когда отверстіе можетъ служить для проѣзда или скотопргона.

6) *Практикуемое по экономическимъ соображеніямъ устройство отверстій на склонъ оврага, вмѣсто трубы на днѣ оврага, является нерациональнымъ съ точки зрѣнія наименьшаго нарушенія бытового режима водотока и облегченія водопропускной работы отверстія.*

Въ цѣляхъ дальнѣйшаго выясненія вопроса о назначеніи отверстій и обезпеченія устойчивости сооружений ниже разобраны переходы черезъ рѣки: Припять, Бугъ, Иманъ и Днѣпръ, на которыхъ, какъ извѣстно, произошли серьезныя разрушенія.

РАЗБОРЪ КОНКРЕТНЫХЪ СЛУЧАЕВЪ ПЕРЕХОДОВЪ ЧЕРЕЗЪ ВОДОТОКИ.

Классическими случаями, приводимыми въ доказательство невозможности устройства групповыхъ отверстій, являются дополнительные мосты на р. Припяти Полѣвскихъ желѣзныхъ дорогъ и р. Бугъ С.-Петербургско-Варшавской жел. дор. Въ первомъ случаѣ кромѣ моста на главномъ руслѣ отверстіемъ 150 саж., былъ поставленъ въ 8 верстахъ отъ него мостъ отверстіемъ 3 саж. на осушительной канавѣ, а во второмъ случаѣ въ дополненіе къ мосту на главномъ руслѣ былъ поставленъ мостъ отв. 3.5 саж. на ручьѣ Оржелкѣ. Оба эти малые мосты были разрушены водою. Послѣ разрушенія 3-хъ саженный мостъ на поймѣ р. Припяти былъ замѣненъ 5-ти саженнымъ; но и этотъ мостъ былъ вынесенъ водою.

Случаи на р. р. Припяти и Бугъ.

Причина разрушенія была объяснена слѣдующимъ образомъ (Мосты Проф. Николаи, стр. 204): „При широкихъ разливахъ поперечная профиль поверхности разлива, взятая съ верховой стороны полотна, представляетъ поверхность постепенно возвышающуюся отъ моста въ обѣ стороны разлива; профиль же разлива съ низовой стороны полотна представляетъ обратное явленіе: горизонтъ воды въ обѣ стороны отъ моста постепенно понижается. Слѣдовательно, если въ предѣлахъ разлива будетъ оставлено незначительное отверстіе, то, благодаря указанному явленію, разность горизонтовъ воды выше и ниже моста, около самого полотна, можетъ оказаться значительной, т. е. будетъ подпоръ или перепадъ, что можетъ вызвать громадную скорость“.

По поводу этого разъясненія умѣстно прежде всего замѣтить, что, какъ уже выяснено въ гл. IX, не только при широкихъ разливахъ, но вообще при всякомъ разливѣ водная поверхность вдоль линіи съ верховой и низовой сторонъ не представляетъ собою горизонтальной линіи, такъ какъ при всякомъ отверстіи образуется воронка съ верховой стороны и бугоръ съ низовой стороны. Затѣмъ, если въ предѣлахъ разлива будетъ оставлено, кромѣ главнаго отверстія, дополнительное отверстіе, то разность горизонтовъ выше и ниже дополнительнаго моста не будетъ равна той разности, которая въ этомъ мѣстѣ была бы безъ отверстія. Дополнительное отверстіе, какъ уже извѣстно, создастъ свою водную воронку и водный бугоръ, которые смягчатъ перепадъ непосредственно выше и ниже отверстія, и чѣмъ отверстіе больше, чѣмъ больше мощность его русла, тѣмъ съ меньшимъ отношеніемъ $\frac{S_n}{Q_n}$ и съ меньшимъ добавочнымъ уклономъ будетъ происходить его водопропускная работа, и тѣмъ меньшая скорость теченія будетъ въ немъ развиваться.

Дѣйствительными причинами разрушенія малыхъ мостовъ на разливѣ р.р. Припяти и Буга представляются слѣдующія три. Прежде всего слѣдуетъ обратить вниманіе на слишкомъ малыя величины отверстій, далеко не удовлетворяющія вышеприведенному заключенію, что на значительномъ потокѣ въ группѣ отверстій вообще не умѣстны малыя отверстія, менѣе 15—20 саж. Водопропускная способность разсматриваемыхъ отверстій была ничтожна, и потому, они не могли имѣть серьезнаго значенія для пропуска обильныхъ водъ большихъ потоковъ; а между тѣмъ вслѣдствіе ничтожной мощности русель эти отверстія работали при большихъ отношеніяхъ $\frac{S_n}{Q_n}$, подъ дѣйствіемъ большихъ частныхъ подпоровъ k_n и добавочныхъ уклоновъ j_n , съ большимъ приращеніемъ скорости. Вслѣдствіе этого, разсматриваемыя отверстія, не приносившія сколько нибудь существенной пользы въ пропускѣ водъ, требовали особо сильнаго укрѣпленія соотвѣтственно развивавшимся въ нихъ большимъ скоростямъ.

Такія отверстія или не слѣдовало открывать на время прохода высокихъ водъ, или, если открыть, то необходимо было ихъ надежно укрѣпить. Должнаго укрѣпленія, видимо, не было

сдѣлано. Да и вообще до настоящаго времени на укрѣпленіе малыхъ отверстій рѣдко обращается надлежащее вниманіе. Дѣло въ томъ, что укрѣпленіе дна русла при малыхъ отверстіяхъ производится обыкновенно весьма основательно (каменные лотки), но только въ предѣлахъ устоевъ; внѣ же устоевъ какъ съ верховой, такъ и съ низовой стороны укрѣпленіе производится обычно на незначительномъ протяженіи нѣсколькихъ саженой; а между тѣмъ большія скорости, не много уступающія скоростямъ въ отверстіи, имѣютъ мѣсто, какъ уже выяснено, на значительномъ протяженіи воронки и бугра. Недостаточная протяженность укрѣпленія русла служитъ причиною размыва его выше и ниже сооруженія, вслѣдъ за чѣмъ происходитъ подмывъ укрѣпленія между устоями и, наконецъ, разрушеніе самого сооруженія.

Затѣмъ, при малыхъ отверстіяхъ или совсѣмъ не дѣлаютъ струенаправляющихъ дамбъ, или дѣлаютъ самаго малаго развитія; а между тѣмъ во многихъ случаяхъ, какъ это выяснено въ гл. XI, малыя отверстія нуждаются въ струенаправляющихъ дамбахъ даже въ бѣльшей степени, чѣмъ большія отверстія. За отсутствіемъ дамбъ, въ случаѣ значительныхъ отношеній $\frac{s}{q}$, въ малыхъ отверстіяхъ происходитъ чрезвычайное сжатіе струи, сопровождающееся водоворотами. Сжатіе струи уменьшаетъ и безъ того малую водопропускную способность малыхъ отверстій, обращая ихъ буквально въ щели, и содѣйствуетъ такимъ образомъ еще бѣльшему возрастанію частнаго подпора, добавочнаго уклона и скорости протеканія въ отверстіи; водовороты же въ свою очередь способствуютъ размывамъ и разрушенію.

Такимъ образомъ, *дѣйствительными причинами разрушенія дополнительныхъ мостовъ на разливахъ служатъ малые размеры отверстій, недостаточность укрѣпленія мостовыхъ руселъ и отсутствіе струенаправляющихъ дамбъ.*

Для сохраненія рассматриваемыхъ дополнительныхъ мостовъ на р.р. Припяти и Бугѣ слѣдовало бы увеличить ихъ отверстія и произвести искусственную разработку руселъ, съ тѣмъ чтобы поднять ихъ водопропускную способность, развитіе ихъ воронки втораго порядка, и такимъ путемъ уменьшить подпоръ, добавочные уклоны и скорости въ мостовыхъ руслахъ; при этомъ

разность горизонтовъ водъ выше и ниже дополнительныхъ мостовъ также уменьшилась бы. Въ результатъ общій перепадъ на потокъ уменьшился бы и водныя поверхности выше и ниже линіи перехода менѣе расходились бы по высотѣ одна отъ другой. На р. Припяти, на примѣръ, водная поверхность вмѣсто формы изображенной на чер. 176 *), могла бы принять форму приближенно указанную на чер. 177 (Л. LXXVII). Кромѣ увеличенія отверстій дополнительные мосты все же нуждались бы въ устройствѣ рациональныхъ струенаправляющихъ дамбъ и надежнаго укрѣпленія мостовыхъ руселъ на всемъ протяженіи дамбъ.

Случай на р. Иманѣ.

Далѣе приводятся случаи, когда наглядно обнаружилось вліяніе засыпанныхъ второстепенныхъ руселъ на широкихъ разливахъ. Описываемые случаи не исключительные, а напротивъ, встрѣчаются нерѣдко. Между прочимъ, подобный же случай имѣетъ мѣсто на переходѣ черезъ р. Донъ Юго-Восточныхъ желѣзныхъ дорогъ.

На р. Иманѣ Уссурийской жел. дор. поставленъ мостъ лишь на главномъ руслѣ, протоки же, и въ томъ числѣ одинъ значительный, были засыпаны, благодаря чему получилось рѣзкое искаженіе бытового режима потока. Въ 1896 г. проходъ высокихъ водъ сопровождался образованіемъ большого перепада. При этомъ въ мѣстѣ пересѣченія засыпаннаго мощнаго протока получились съ верховой стороны сплывы полотна настолько опасные, что рельсовый путь со шпалами на протяженіи около 10 саж. уже висѣлъ въ воздухѣ въ видѣ цѣпи. Тысячи мѣшковъ съ глиною, сбрасываемыхъ въ мѣстѣ сплыва полотна съ верховой стороны, исчезали тотчасъ же безслѣдно; надежды на предупрежденіе прорыва полотна уже не осталось; прорывъ ожидался съ минуты на минуту; но къ счастью вода пошла на убыль и полотно устояло. Продержисъ вода еще короткій промежутокъ времени и значительная часть полотна на разливѣ была бы смыта.

Наблюденіе описаннаго случая выяснило, что ближайшихъ причинъ опаснаго поврежденія полотна было двѣ: во-первыхъ,

*) Чер. 176 заимствованъ изъ „Мостовъ“ Л. Ф. Николаи, стр. 204.

значительная разни́ца горизонтовъ воды по обѣ стороны полотна, вслѣдствіе чего образовалась фильтрація черезъ полотно, и вторыхъ, значительная скорость подхода къ полотну воды по пересыпанному протоку и рѣзкій поворотъ ея возлѣ полотна сопровождавшійся водоворотомъ, вслѣдствіе чего и получился подмывъ верховаго откоса въ мѣстѣ пересыпки протока. Сопоставляя эти причины съ выводами IX главы, приходимъ къ заключенію, что наблюденныя на р. Иманѣ явленія произошли вслѣдствіе недостаточности отверстія, имѣвшей послѣдствіемъ образованіе большого перепада, и вслѣдствіе того, что пересыпанное русло протока повліяло на искаженіе воронки въ томъ смыслѣ, что значительныя массы воды направлялись по этому руслу до самого полотна, гдѣ рѣзко поворачивали для того, чтобы далѣе направиться по резерву вдоль полотна къ мосту.

Такимъ образомъ, въ этомъ случаѣ сама природа какъ бы указала на неправильность засыпки мощнаго протока. Если бы кромѣ главнаго русла было оставлено отверстіе и на протокѣ, то подпоръ и разность горизонтовъ по обѣ стороны полотна не достигли бы опасныхъ размѣровъ; вмѣстѣ съ тѣмъ возлѣ полотна не образовалось бы крутаго поворота быстро стекавшихъ водъ, и полотно находилось бы внѣ опасности.

Явленія наблюденныя на р. Иманѣ указываютъ на необходимость, въ случаѣ рѣшенія пересыпать русла, отдалять отъ полотна поворотъ водъ въ мѣстахъ пересыпки, для чего съ устьемъ могутъ служить полузапруды, какъ подробно изложено въ гл. XIV. Такія полузапруды спроектированы на переходѣ черезъ р. Донъ Саратовъ-Миллеровской линіи, какъ видно изъ чер. 180 (Л. LXXIX).

Кромѣ того, выводъ изъ случая на р. Иманѣ еще тотъ, что *верховые откосы полотна въ мѣстахъ пересыпки руселъ требуютъ большаго укрѣпленія.*

Въ широкихъ размѣрахъ групповыя отверстія были примѣнены при переходѣ черезъ р. Днѣпръ у г. Кіева для устройства Черниговскаго шоссе. Переходъ былъ построенъ англійскими инженерами въ 1853—1855 г.г. по проекту, обладавшему

Случай на р. Днѣпрѣ
у г. Кіева.

особенностями, съ которыми во многихъ отношеніяхъ согласны выводы предыдущей и настоящей главъ. Мѣсто для перехода было выбрано наиболѣе узкое, шириною около 1200 саж., между тѣмъ какъ ширина разлива въ небольшомъ разстояніи отъ мѣста перехода достигаетъ 7 вер.; линія перехода направлена нормально къ общему теченію потока; отверстія были назначены не только на главномъ руслѣ, но также и на протокахъ; вся группа состояла изъ 4-хъ отверстій. На главномъ руслѣ длина отверстія была назначена 325 саж., а на протокахъ три отверстія общюю длиною $100+100+219=419$ саж.; отверстія были распределены по всей ширинѣ потока, какъ видно изъ профиля на чер. 179 (Л. LXXVIII). На главномъ руслѣ былъ построенъ постоянный „Николаевскій“ цѣпной мостъ, а на второстепенныхъ водотокахъ три деревянныхъ моста. Общая длина мостовъ составляла около 745 саж. или

$$\frac{745 \times 100}{1200} = 62\%$$

отъ полной ширины живаго сѣченія по линіи перехода. Если къ этому весьма большому проценту присовокупить, что отверстія были поставлены на всѣхъ руслахъ, а засыпаны полотномъ были лишь наиболѣе мелководные участки поймы, то станетъ ясно, что назначеніе отверстій на Кіевскомъ переходѣ было сдѣлано рационально и настолько широко, что можно было избѣжать сколько-нибудь значительнаго измѣненія бытового режима потока. Однако-жъ, какъ видно изъ дальнѣйшаго, и здѣсь произошли неожиданности и поврежденія, которыя обязаны исключительно недостаточному еще знанію явленія прохода воды черезъ отверстія.

Къ недостаткамъ перехода черезъ Днѣпръ слѣдуетъ отнести во-первыхъ, положеніе главнаго русла сбоку разлива возлѣ самаго его праваго берега и во-вторыхъ, косое направленіе верховаго участка главнаго русла въ отношеніи оси моста. Первый недостатокъ, влекущій за собою несимметричность воронки главнаго отверстія, въ значительной степени сглаживался устройствомъ групповыхъ отверстій на разливѣ. Второй же недостатокъ имѣлъ послѣдствіемъ образованіе косой воронки при главномъ отверстіи и косыхъ струй въ немъ, вслѣдствіе чего отдѣль-

ныя части отверстія работали неравномѣрно, именно, пролеты со стороны города принимали сравнительно слабое участіе въ водопропускной работѣ, и этимъ водопропускная способность главнаго моста была понижена.

Въ заключеніе описанія Кіевского перехода слѣдуетъ отмѣтить, что выше мѣста перехода, какъ видно изъ плана (чер. 179), Днѣпръ выдѣляетъ два рукава: Черторой и Старикъ; отъ Чертороя отдѣляется заливъ Русановскій.

Въ описанномъ видѣ сооруженіе стояло до 1877 г., въ теченіи 22 лѣтъ. За это время наблюдалось постепенное ослабленіе главнаго русла съ отложеніемъ въ немъ наносовъ, особенно въ пролетахъ со стороны города. Въ 1877 г. деревянные мосты были размыты, и ниже линіи перехода образовалось Русановское русло по продолженію Русановскаго залива. Причина размыва была объяснена слѣдующимъ образомъ *): «Устройство «добавочныхъ отверстій въ дамбѣ по линіи кратчайшаго направленія весеннихъ водъ отвлекало значительное количество воды «отъ главнаго русла съ поврежденіемъ деревянныхъ мостовъ; «главную причину поврежденія мостовъ слѣдуетъ искать не «столько въ значительности расхода, благодаря кратчайшему «направленію теченія, сколько въ томъ, что въ мостахъ построенныхъ въ предѣлахъ разлива разность горизонтовъ выше «и ниже моста очень велика, а слѣдовательно велика и скорость протеканія». По поводу этого объясненія необходимо замѣтить, что за отсутствіемъ наблюденій надъ прохождениемъ водъ 1877 г., къ сожалѣнію, нельзя опредѣленно говорить ни о размѣрахъ разности горизонтовъ водъ выше и ниже отверстій, ни о скоростяхъ въ отверстіяхъ; къ сожалѣнію, также неизвѣстно состояніе руселъ и ихъ укрѣпленія къ 1877 г. черезъ 22 года послѣ постройки шоссе. Поэтому, о причинѣ происшедшаго размыва мостовъ нельзя высказаться вполне опредѣленно. Тѣмъ не менѣе, на основаніи наблюденій надъ водопропускною работою сооружений на дельтѣ р. Волги и на основаніи результатовъ изслѣдованія предыдущей главы представляется возможнымъ вновь отмѣтить ошибочность того взгляда, что мостамъ построен-

*) „Мосты“. Проф. Л. Ф. Николаи, стр. 212—213.

нымъ въ предѣлахъ разлива обязательно присуща очень большая разность горизонтовъ съ верховой и низовой стороны отверстій.

Въ дѣйствительности же, какъ уже выяснено, разность горизонтовъ при групповыхъ отверстіяхъ устанавливается соответственно величинамъ добавочныхъ уклоновъ j_n , которые образуются въ зависимости отъ величины полного подпора, и непосредственно возлѣ самыхъ отверстій эта разность не можетъ быть „очень велика“. Въ данномъ же случаѣ тѣмъ болѣе не могла образоваться сколько-нибудь значительная разность горизонтовъ непосредственно выше и ниже отверстій, такъ какъ общій подпоръ и добавочные уклоны не могли быть велики вслѣдствіе того, что общее стѣсненіе потока сооруженіями, какъ показываетъ расчетъ, было мало.

Видимо причину размыва мостовъ на разсматриваемомъ разливѣ надо искать не въ разности горизонтовъ. Судя по наблюдавшемуся до 1877 г. постепенному ослабленію главного русла въ мѣстѣ перехода и отложенію въ немъ наносовъ, является вѣроятнымъ предположеніе, что размывъ мостовыхъ руселъ на разливѣ происходилъ постепенно и ранѣе 1877 г. При отсутствіи или слабомъ состояніи укрѣпленія мостовыхъ руселъ размывъ ихъ могъ происходить безъ большихъ скоростей теченія, лишь бы скорости хотя незначительно превышали бытовые. По мѣрѣ размыва руселъ на разливѣ увеличивалась ихъ водопропускная способность и росли расходы водъ ими пропускаемыхъ, послѣдствіемъ чего явилось ослабленіе водопропускной работы главного отверстія и отложеніе въ немъ наносовъ. Занесеніе главного русла въ свою очередь вліяло на перераспределеніе водъ въ сторону увеличенія расходовъ черезъ деревянные мосты и на увеличеніе размыва ихъ руселъ. Къ этому слѣдуетъ прибавить, что въ отношеніи водопропускной способности отверстія на разливѣ находились въ благопріятныхъ условіяхъ благодаря расположенію ихъ нормально къ общему теченію высокихъ водъ и по пути кратчайшаго ихъ хода; между тѣмъ какъ на водопропускную способность главного отверстія, какъ уже указано, неблагопріятно вліялъ изгибъ главного русла съ верховой стороны. При такихъ условіяхъ въ годъ исключительно высокихъ водъ (1877 г.) размывъ мостовыхъ руселъ на разливѣ легко

могъ достигнуть размѣровъ опасныхъ для деревянныхъ мостовъ, вообще не допускающихъ размыва, и мосты были повреждены. Если бы мостовыя русла отверстій на разливѣ были защищены укрѣпленіемъ отъ размыва, то не могло бы произойти ни поврежденія деревянныхъ мостовъ, ни значительнаго перераспредѣленія водъ повлекшаго за собою нежелательное ослабленіе главнаго русла. Это заключеніе находитъ подтвержденіе въ томъ, что послѣ засыпки почти половины общей длины мостовъ, когда скорости въ оставшихся двухъ отверстіяхъ значительно возрасли противъ первоначальныхъ скоростей, все же оказалось возможнымъ надежнымъ укрѣпленіемъ обезпечить устойчивость сооруженій. Такимъ образомъ, вѣроятной причиною поврежденія деревянныхъ мостовъ было отсутствіе или неудовлетворительное состояніе укрѣпленія ихъ русель.

Описанный случай *подтверждаетъ необходимость надежнаго укрѣпленія мостовыхъ русель групповыхъ отверстій во избѣжаніе нарушенія устойчивости сооружений и, кроме того, указываетъ, что размывъ мостовыхъ русель второстепенныхъ групповыхъ отверстій не допустимъ въ тѣхъ случаяхъ, когда не желательно ослабленіе главнаго русла.*

Поучительна дальнѣйшая исторія Кіевского перехода черезъ Днѣпръ. Вслѣдъ за происшедшимъ поврежденіемъ деревянныхъ мостовъ на разливѣ было принято рѣшеніе засыпать значительную ихъ часть для того, чтобы вернуть коренному руслу утерянную имъ мощность. Размѣры засыпки не были выяснены расчетомъ, а опредѣлились ощупью путемъ постепеннаго производства работъ. Въ результатѣ осталось на разливѣ лишь одно 100 саженное отверстіе на болѣе мощномъ Русановскомъ протокѣ, остальные же 319 саж. были засыпаны (чер. 179). Цѣль была достигнута, расходъ главнаго отверстія выросъ; но при этомъ получился настолько значительный размывъ неукрѣпленнаго главнаго русла, что опоры Николаевского цѣпнаго моста были подвергнуты опасности подмыва. Изъ чертежа видно, что размывъ подъ мостомъ не только достигъ глубины заложения опоръ (быкъ № 3, счетъ отъ Кіевского берега), но даже пошелъ значительно глубже нѣкоторыхъ опоръ (быки №№ 4 и 5,

основанные на сваяхъ на глубинѣ на 1 саж. ниже низкаго горизонта). Для сохраненія моста оказалось необходимымъ окружить опоры огромными каменными отсыпями, какъ бы искусственными островами. Такое положеніе Николаевского моста, хотя и не угрожающее, но должно быть признано ненормальнымъ; оно ясно указываетъ на ошибочность того рѣшенія, въ силу котораго была засыпана бѣльшая часть отверстій на разливѣ. Одинъ элементарный расчетъ общей средней скорости въ оставшихся двухъ групповыхъ отверстіяхъ, безъ точнаго распредѣленія водъ, долженъ былъ предупредить о неизбѣжности глубокаго размыва русла, не допустимаго по конструкціи мостовыхъ опоръ. Въ самомъ дѣлѣ, когда въ 1895 г. горизонтъ воды не достигалъ до уровня с. в. водъ на 0.47 саж. въ главномъ руслѣ наблюдалась скорость на поверхности $1.165 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ *) и скорость по дну $0.828 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$. При самыхъ же высокихъ водахъ, когда расходъ въ главномъ отверстіи долженъ составить 1377 куб. саж., средняя скорость въ размытомъ уже руслѣ (по промѣрамъ 1895 г.) должна быть:

$$\frac{1377}{0.95 \times 1560} = 0.93 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$$

Эта скорость, не говоря о затрудненіи для судоходства, несомнѣнно должна вызвать еще дальнѣйшій размывъ главнаго русла. Еще съ бѣльшими скоростями работаетъ Русановское отверстіе, на долю котораго, при оставленной 100 саженой длинѣ, приходится огромный расходъ въ 507 куб. саж., вслѣдствіе чего мостовое русло этого отверстія потребовало особо сильныхъ укрѣпленій.

Такимъ образомъ, именно, послѣ засыпки отверстій на разливѣ образовались въ оставшихся двухъ отверстіяхъ очень большія скорости, какихъ, несомнѣнно, не было до засыпки, но на которыя, какъ на причину поврежденія деревянныхъ мостовъ, указало вышеприведенное заключеніе.

Описанное состояніе существующихъ двухъ групповыхъ отверстій на Днѣпрѣ приводитъ къ заключенію, что общая

*) Цифровыя данныя извлечены изъ „Мостовъ“ Проф. Л. Ф. Николаи стр. 212 — 217.

длина ихъ: $325 + 100 = 425$ саж. является по конструкціи мостовыхъ опоръ не достаточной, и остается сожалѣть, что рационально назначенная при постройкѣ шоссе группа Днѣпровскихъ отверстій подверглась послѣ 1877 г. рѣзкому искаженію безъ надлежащихъ соображеній о возможныхъ скоростяхъ и размывѣ мостовыхъ руселъ; въ результатѣ чего Николаевскій цѣпной мостъ былъ приведенъ въ ненормальное состояніе.

Въ данномъ случаѣ послѣ обнаруженія размыва руселъ деревянныхъ мостовъ необходимо было, для возстановленія мощности главнаго русла, уменьшить живыя сѣченія размытыхъ отверстій, но не далѣе какъ до предѣла допустимой средней скорости и допустимаго размыва главнаго русла по соображенію съ конструкціей мостовыхъ опоръ и съ ихъ укрѣпленіями; для чего надлежало сдѣлать хотя приближенно распредѣленіе водъ между отверстіями и рассчитать съ запасомъ возможные скорости въ нихъ; затѣмъ необходимо было сдѣлать сплошное укрѣпленіе мостовыхъ руселъ отверстій на разливѣ, дабы предупредить ихъ дальнѣйшій размывъ и обезпечить устойчивость мостовъ. Уничтоженіе же безъ надлежащихъ соображеній почти половины общей длины групповыхъ отверстій было ошибочно, и можетъ быть объяснено лишь существующимъ предубѣжденіемъ противъ групповыхъ отверстій. Это предубѣжденіе въ данномъ случаѣ съ особой силой выразилось въ слѣдующемъ заключеніи *).

„Наиболѣе правильнымъ рѣшеніемъ представлялось бы закрыть наглухо Русановскій протокъ и удлинить существующій цѣпной мостъ на 100 саж.“ Въ дѣйствительности же такое рѣшеніе, какъ ясно изъ всего предыдущаго, было бы наиболѣе неправильнымъ; слѣдовало не только сохранить Русановское, но и засыпанные отверстія, уменьшивъ лишь отчасти ихъ длины и надежно закрѣпивъ ихъ мостовыя русла.

Однако-жъ, положеніе, создавшееся на Днѣпрѣ послѣ засыпки отверстій, имѣетъ свою поучительную сторону; именно, оно указываетъ на возможность обезпечить устойчивость групповыхъ мостовыхъ сооружений, даже въ томъ случаѣ, когда общая длина назначенныхъ отверстій далеко не достаточна. Этотъ случай

*) „Мосты“. Проф. Л. Ф. Николаи, стр. 217.

убѣждаетъ въ полной безопасности групповыхъ отверстій при условіи исполненія надлежащихъ укрѣпленій.

Переходъ черезъ Днѣпръ представляетъ еще своеобразный интересъ по тѣмъ мѣрамъ, которыя одновременно съ засыпкой отверстій были примѣнены для направленія главной массы водъ въ отверстіе на коренномъ руслѣ. Эти мѣры заключались въ цѣломъ рядѣ гидротехническихъ сооружений воздвигнутыхъ выше мѣста перехода на протяженіи 11 верстъ, до истока р. Десенки изъ р. Десны. На планѣ (чер. 179) показаны не всѣ сооруженія, исполненныя въ связи съ переустройствомъ отверстій на шоссе, такъ какъ часть ихъ находится внѣ границъ плана. Общее число гидротехническихъ сооружений превышаетъ 40 шт. Состоятъ они главнымъ образомъ изъ запрудъ въ истокахъ рукавовъ и даже ложбинъ, отдѣляющихся отъ лѣваго берега кореннаго русла, а также въ истокахъ отвѣтвленій втораго порядка, затѣмъ, изъ струеотводныхъ плотинъ, струенаправляющихъ дамбъ, ряда струеотводныхъ бунъ и, наконецъ, изъ канала въ заливъ Долбичку.

Какъ выяснено въ главѣ IX, загражденіе руселъ выше и ниже отверстій въ предѣлахъ воронки и бугра оказываетъ ослабляющее вліяніе на водопропускную способность отверстія, и поэтому, тѣ гидротехническія сооруженія на Днѣпрѣ и его разливѣ, которыя построены въ предѣлахъ воронки, достигаютъ своей цѣли, именно уменьшаютъ притокъ воды къ Русановскому отверстію и, слѣдовательно, уменьшаютъ его водопропускную способность и расходъ водъ въ немъ. Хотя слѣдуетъ замѣтить, что вліяніе загражденій ослабляется тѣмъ, что притокъ воды къ Русановскому отверстію происходитъ не только по загражденнымъ русламъ, но и по залитымъ поймамъ, благодаря чему вода можетъ обходить загражденія и этимъ уменьшаетъ ихъ дѣйствіе. И дѣйствительно не только обходъ загражденій наблюдался на Днѣпрѣ, но даже и разрушеніе ихъ водою. Что же касается гидротехническихъ сооружений построенныхъ на рукавахъ въ значительномъ удаленіи отъ отверстій, внѣ предѣловъ воронки, то таковыя при наличіи залитыхъ поймъ едва ли способны оказать сколько-нибудь существенное вліяніе на распределеніе водъ между отверстіями. А такихъ сооружений

большинство, такъ какъ они разставлены на огромномъ протяженіи 11 вер. выше линіи перехода.

Вообще, по поводу загражденій руселъ слѣдуетъ замѣтить, что они могутъ рѣшительно вліять на распредѣленіе водъ лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда воды протекаютъ въ руслахъ, не выходя изъ береговъ на поймы. Но, принимая во вниманіе вредное вліяніе загражденія руселъ на бытовой (особенно меженній) режимъ рукавовъ и даже возможность полного замиранія ихъ подѣ дѣйствіемъ загражденій, таковыя едва ли умѣстны въ цѣляхъ распредѣленія водъ между отверстіями какъ при отсутствіи заливаемыхъ поймъ, такъ и при ихъ наличности. Въ послѣднемъ случаѣ загражденія, поставленныя внѣ воронокъ и бугровъ, не отвѣчаютъ своей цѣли, а поставленныя въ предѣлахъ воронокъ и бугровъ малодѣйствительны, ибо воды ихъ обходятъ и даже могутъ разрушить, особенно въ случаѣ размыва и увеличенія мощности участка русла, лежащаго ниже загражденія.

На основаніи изложеннаго, загражденія руселъ въ цѣляхъ распредѣленія водъ между отверстіями, какъ неумѣстныя и даже вредныя, должны быть избѣгаемы; тѣмъ болѣе, что простымъ и даже болѣе рѣшительнымъ распредѣлителемъ водъ являются сами отверстія. При надежномъ укрѣпленіи мостовыхъ руселъ и струенаправляющихъ дамбъ отверстія не могутъ быть обойдены водою и распредѣляютъ ее сообразно своимъ размѣрамъ и водопропускной способности. Слѣдовательно, дляжелаемаго распредѣленія водъ требуется лишь правильное назначеніе отверстій.

Въ цѣляхъ лучшаго использованія назначенныхъ отверстій, при нихъ всегда полезны, какъ уже выяснено, регуляціонныя работы по спрямленію, выправленію и разработкѣ руселъ въ предѣлахъ водныхъ воронокъ и бугровъ. Гидротехническія же сооруженія, заграждающія русла, являются умѣстной вспомогательной мѣрой лишь въ томъ случаѣ, если послѣ устройства групповыхъ отверстій какое-либо русло подвергнется внѣ закрѣпленнаго участка нежелательному размыву и этимъ будетъ вызвано возрастаніе водопропускной способности отверстія и неблагоприятное перераспредѣленіе водъ. Но въ этомъ случаѣ загра-

жденія русель должны быть устраиваемы только въ предѣлахъ воронки и бугра, и притомъ съ такимъ ограниченіемъ, чтобы лишь вернуть регулируемому руслу прежнюю мощность, но не исказить его.

Итакъ, въ противоположность регуляціоннымъ работамъ въ предѣлахъ воронокъ и бугровъ, ведущимъ къ увеличенію общей водопрпускной способности отверстій, каковыя работы всегда полезны, примѣненіе загражденій протоковъ запрудами въ цѣляхъ желаемого распределенія водъ между отверстиями, являющееся мѣрой дорогой и искажающей режимъ протоковъ, должно быть избегаемо какъ въ томъ случаѣ, когда водъ протекаютъ исключительно въ руслахъ, такъ и при наличности заливаемыхъ поймъ. Желательное распределеніе водъ должно быть достигаемо, безъ загражденій русель, назначеніемъ соответственныхъ размѣровъ групповыхъ отверстій и тѣми работами, которыя ведутъ не къ уменьшенію, а къ увеличенію общей водопрпускной способности группы отверстій.

Заключеніе.

Разборъ конкретныхъ случаевъ перехода черезъ водотоки приводитъ къ слѣдующимъ общимъ выводамъ, которые должны пополнить собою выводы сдѣланные въ IX главѣ и въ предыдущихъ отдѣлахъ настоящей главы:

1) Малые дополнительные мосты на большихъ разливахъ подвергаются размыву вслѣдствіе совокупности трехъ причинъ: а) какъ обладающія малой мощностью русель малыя отверстія работаютъ подъ дѣйствіемъ сравнительно большихъ частныхъ подпоровъ, большихъ добавочныхъ уклоновъ, поэтому въ нихъ развиваются сравнительно большія скорости; б) мостовыя русла малыхъ отверстій укрѣпляются обыкновенно лишь въ предѣлахъ устоевъ, внѣ же устоевъ или остаются совсѣмъ безъ укрѣпленія или незначительно укрѣпляются на маломъ протяженіи, невыходящемъ изъ предѣловъ конусовъ; между тѣмъ какъ при большихъ добавочныхъ уклонахъ большія скорости теченія имѣютъ мѣсто въ воронкахъ и буграхъ на значительномъ разстояніи отъ отверстій, и с) при малыхъ отверстіяхъ не устраиваютъ обычно струенаправляющихъ дамбъ, послѣдствіемъ чего является рѣзкое сжатіе струи въ отверстіи, уменьшеніе рабочей площади живаго сѣченія, еще большее возрастаніе

добавочнаго уклона и скорости теченія; образующіяся при сильномъ сжатіи водовороты въ свою очередь содѣйствуютъ размыву сооруженія.

Поэтому, для обезпеченія устойчивости малыхъ дополнительныхъ отверстій требуется соблюденіе слѣдующихъ трехъ условій: а) размѣръ групповыхъ отверстій не долженъ быть назначаемъ совершенно малымъ (выше уже былъ указанъ низшій предѣлъ групповыхъ отверстій при большихъ разливахъ 15—20 саж.); б) при всѣхъ отверстіяхъ должны быть устраиваемы рациональныя струенаправляющія дамбы, и в) мостовыя русла при необходимости сплошнаго укрѣпленія должны быть надежно укрѣплены не только въ предѣлахъ конусовъ; но и на всемъ протяженіи струенаправляющихъ дамбъ.

2) Размывъ мостовыхъ руселъ второстепенныхъ групповыхъ отверстій не допустимъ въ тѣхъ случаяхъ, когда не желательно ослабленіе главнаго русла.

3) Современное состояніе Кіевского перехода черезъ р. Днѣпръ Черниговскимъ шоссе показываетъ, что устойчивость групповыхъ отверстій можетъ быть обезпечена даже въ томъ случаѣ, когда общія величина отверстій не достаточна, при условіи исполненія надлежащихъ укрѣпленій.

4) Назначенная по проекту искусственная разработка мостовыхъ руселъ не должна быть оставляема неисполненной въ надеждѣ на размывъ высокими водами.

5) Пересыпанныя полотномъ русла искажаютъ водныя воронки въ томъ смыслѣ, что по русламъ, какъ по пути меньшаго сопротивленія, воды стекаютъ до самаго полотна и затѣмъ уже поворачиваютъ къ отверстию вдоль полотна. Вслѣдствіе этого пересыпанныя русла служатъ причиною образованія опасныхъ водоворотовъ вдоль полотна, въ мѣстѣ пересыпки руселъ.

Подобнымъ же образомъ пересыпанныя русла искажаютъ водныя бугры въ томъ смыслѣ, что по русламъ, какъ по пути меньшаго сопротивленія, преимущественно стекаютъ воды по выходѣ изъ отверстія.

6) Въ противоположность регуляционнымъ работамъ въ предѣлахъ воронокъ и бугровъ, которые ведутъ къ увеличенію общей водопрпускной способности отверстій и потому всегда полезны, примѣненіе загражденій протоковъ запрудами въ цѣляхъ желательнаго распредѣленія водъ между отверстиями, являющееся мѣрой дорогой и искажающей режимъ протоковъ, должно быть избегаемо какъ въ томъ случаѣ, когда воды протекаютъ исключительно въ руслахъ, такъ и при наличии заливаемыхъ поймъ.

Желательное распредѣленіе водъ должно быть достигаемо, безъ загражденія руселъ, назначеніемъ соответственныхъ размѣровъ групповыхъ отверстій и тѣми работами, которыя ведутъ не къ уменьшенію, а къ увеличенію общей водопрпускной способности группы отверстій.

Загражденія поставленныя вѣнъ воронокъ и бугровъ въ случаѣ залитой поймы не достигаютъ цѣли.

Загражденія руселъ совместно съ укрѣпленіемъ ихъ уместны лишь въ томъ случаѣ, если при данномъ распредѣленіи отверстій и невозможности ихъ переустройства происходитъ размывъ руселъ въ предѣлахъ воронокъ и бугровъ, но вѣнъ предѣловъ струенаправляющихъ дамбъ, т. е. вѣнъ предѣловъ мостоваго участка руселъ; при этомъ загражденія должны имѣть цѣлью лишь вернуть размываемымъ русламъ прежнюю мощностъ.

7) Размѣръ каждаго групповаго отверстія долженъ быть сообразованъ съ мощностью соответственныхъ отводныхъ руселъ ниже линіи перехода, въ томъ отношеніи, чтобы не произошло нежелательнаго размыва этихъ послѣднихъ, или образованія новыхъ руселъ; поэтому, вслѣдъ за распредѣленіемъ общаго расхода потока между групповыми отверстиями долженъ быть сдѣланъ расчетъ скорости протеканія водъ по существующимъ русламъ ниже линіи перехода, и въ случаѣ надобности должно быть назначено соответственное ихъ укрѣпленіе.

ГЛАВА XI.

О протеканіи водъ въ мостовыхъ руслахъ и о работѣ струенаправляющихъ дамбъ.

При всѣхъ мостовыхъ сооруженіяхъ на дельтѣ съ верховой и съ низовой сторонъ устроены струенаправляющія дамбы съ цѣлью выправленія струй въ мостовыхъ руслахъ *). Въ данномъ случаѣ струенаправляющія дамбы имѣютъ тѣмъ большее значеніе, что значительная часть водъ поступаетъ въ мостовыя русла съ поймы, и что многіе изъ водотоковъ (второстепенныхъ) пересѣчены желѣзнодорожной линіей не вполне нормально.

Форма струенаправляющимъ дамбамъ въ планѣ была придана по соображенію прежде всего съ очертаніемъ бытовыхъ руселъ водотоковъ такъ, чтобы дамбы не стѣсняли ихъ и не служили бы препятствіемъ для прохода водъ. Кромѣ того, при выработкѣ формы дамбъ было принято въ основу то предположеніе, что благодаря общему наклону бытоваго теченія водъ къ югу, въ сторону Астрахани, воды будутъ поступать въ каждое отверстіе кромѣ бытоваго русла водотока еще съ сѣверной поймы; воды же южной поймы полностью будутъ стекать вдоль полотна въ сторону Астрахани къ ближайшему южному отверстію; кромѣ того было предположено, что также въ сторону Астрахани на южную пойму будетъ сливаться часть водъ изъ бытоваго русла каждаго водотока. Вслѣдствіе такихъ предположеній верховымъ сѣвернымъ струенаправляющимъ дамбамъ было придано плавное грушевидное очертаніе, съ тѣмъ чтобы возможно менѣе отклонять поймныя струи, идущія вдоль полотна съ сѣверной поймы къ мостовому руслу, и содѣйствовать плавному повороту ихъ въ русло. Южнымъ же верховымъ дамбамъ была придана удлинненная шпоровидная форма съ тою цѣлью, чтобы они оказали задер-

Проектъ струенаправляющихъ дамбъ на дельтовомъ участкѣ.

*) Подъ мостовымъ русломъ разумѣется по предыдущему участокъ русла на протяженіи струенаправляющихъ дамбъ.

живающее вліяніе на вѣды, стремящіяся изъ русель водотоковъ на южныя поймы подъ вліяніемъ общаго наклона водной поверхности къ югу въ сторону Астрахани. Исходя изъ проектнаго предположенія о распредѣленіи подпертыхъ водъ, ожидалось, что чѣмъ длинѣе южная верховая дамба, тѣмъ она направитъ бѣльшія массы водъ къ отверстию и, создавъ бѣльшій мѣстный подпоръ передъ отверстиемъ, будетъ содѣйствовать увеличенію его водопропускной работы. Въ этихъ видахъ южныя верховыя дамбы были назначены болѣе длинными, особенно при мостахъ бѣльшихъ отверстій.

Низовыя струенаправляющія дамбы въ бѣльшинствѣ случаевъ были назначены шпоровидныя; назначеніе ихъ, по предположенію проекта, заключалось въ содѣйствіи параллельноструйности потока, протекающаго въ мостовомъ руслѣ. Низовыя дамбы въ бѣльшинствѣ случаевъ построены симметричныя, одинаковой длины.

Форма шпоровидныхъ дамбъ въ планѣ была назначена нѣсколько развернутая въ цѣляхъ постепенности ихъ дѣйствія на потокъ въ мостовомъ руслѣ.

Очертаніе дамбъ при всѣхъ мостахъ показано на чер. 32—37 (Л. XVII—XIX); причемъ въ этихъ чертежахъ введены также тѣ измѣненія, которыя оказались нужными по наблюденіямъ высокыхъ водъ 1908 г.; проектное же очертаніе измѣняемыхъ дамбъ показано на чертежахъ пунктирными линіями.

Выносы дамбъ, считая отъ оси пути, были назначены (вѣд. 60): верховыхъ сѣверныхъ отъ 8 до 25 саж., верховыхъ южныхъ отъ 14 до 177 саж. и низовыхъ дамбъ отъ 10 до 50 саж.

Общая длина дамбъ при всѣхъ мостахъ на дельтѣ по проекту составляла 1373 саж., изъ нихъ на верховыя дамбы приходится 792 саж. и на низовыя 581 саж.

Поперечные профили дамбъ показаны на чер. 38 (Л. XIX).

Ширина шпоровидныхъ дамбъ по верху назначена отъ $1\frac{1}{2}$ до 2 саж.; ширина ихъ головныхъ частей—отъ 4 до 5 саж.

Грушевидныя дамбы ввиду незначительности ихъ размѣровъ сдѣланы сплошныя, сливающіяся съ тѣломъ желѣзнодорожнаго полотна.

Въ нѣсколькихъ случаяхъ дамбамъ придана особая расширенная форма для помѣщенія водоподъемныхъ зданій для водоснабженія станцій (на р.р. Крив. Бузѣ и Болдѣ) и въ цѣляхъ устройства проѣзда вдоль дамбъ подъ мостами. При мостѣ черезъ р. Болду южныя дамба, расположенныя на городскомъ берегу, слиты съ городскимъ оградительнымъ валомъ.

Возвышеніе дамбъ назначено не менѣе 0.40 саж. надъ расчетнымъ подпорнымъ горизонтомъ водъ съ верховой стороны линіи и надъ проектнымъ горизонтомъ с. в. водъ съ низовой стороны. Это возвышеніе назначено по тѣмъ же соображеніямъ, какъ и возвышеніе бермъ при полотнѣ *).

Откосы дамбъ съ рѣчной стороны не круче полуторныхъ, укрѣпленные камнемъ въ плетневыхъ клѣткахъ по слою щебня при толщинѣ каменной одежды отъ 0.12 до 0.20 саж. Въ головныхъ частяхъ шпоровидныхъ дамбъ откосы тройные, одежда каменная того же типа.

Подшовой каменной одежды откосовъ служатъ каменные отсыпи запущенныя почти на всей длинѣ въ естественный грунтъ на глубину 0.20 саж.; кромѣ тѣхъ исключительныхъ мѣстъ, гдѣ рѣчной откосъ падалъ въ меженное русло, тамъ каменные отсыпи не запускались въ естественный грунтъ.

Полевые откосы шпоровидныхъ дамбъ, какъ не подверженные дѣйствию значительныхъ скоростей, могли бы быть на всемъ протяженіи укрѣплены, по общему типу укрѣпленія откосовъ дельтоваго полотна, хворостяной выстилкой съ ивовыми кольями; но въ противопожарныхъ цѣляхъ при деревянныхъ мостахъ полевые откосы дамбъ укрѣплены на длину не менѣе 15 саж. отъ оси пути также камнемъ въ плетневыхъ клѣткахъ; на остальномъ протяженіи они укрѣплены хворостяной выстилкой.

Количество работъ по устройству струенаправляющихъ дамбъ включено въ графики 60 и 61 (Л. XXIV) и въ вѣд. 74.

Конуса у устоевъ мостовъ въ нижней своей части, начиная отъ горизонта на 0.40 саж. надъ проектнымъ уровнемъ с. в. Конуса при устояхъ.

*) Гл. XIV.

водъ, слиты съ тѣломъ струенаправляющихъ дамбъ, и, слѣдовательно, въ предѣлахъ водъ конуса фактически не существуютъ; а потому, проектъ не предвидѣлъ особаго ихъ укрѣпленія.

Результаты наблюденій дѣйствія струенаправляющихъ дамбъ и протеканія водъ въ мостовыхъ руслахъ.

Выработка рациональной формы струенаправляющихъ дамбъ.

Наблюденіями водъ на Волжской дельтѣ въ 1908 г. въ отношеніи работы мостовыхъ руселъ и струенаправляющихъ дамбъ прежде всего было установлено, что хотя, дѣйствительно, благодаря косому пересѣченію всего потока бѣльшая часть поемныхъ водъ поступаетъ въ мостовыя русла съ прилегающихъ участковъ сѣверныхъ поймъ, но все же, благодаря выступленію водныхъ воронокъ за предѣлы струенаправляющихъ дамбъ воды поступаютъ въ русла также и съ прилегающихъ участковъ южныхъ поймъ; а потому, южныя верховыя дамы несутъ работу того же характера, что и сѣверныя; именно, обѣ верховыя дамы при отверстіи направляютъ поемныя воды въ мостовое русло. Въ виду тождественности характера работы, обѣ верховыя дамы при отверстіяхъ на дельтѣ, такъ же какъ и при обычныхъ пересѣченіяхъ водотоковъ, не должны рѣзко различаться по типу, хотя въ соотвѣтствіи съ мѣстными условіями и могутъ различаться по размѣрамъ.

Такимъ образомъ, предположеніе проекта о сливѣ на югъ съ верховой стороны линіи части водъ изъ бытовыхъ руселъ и полностью водъ южныхъ поймъ и о задержаніи сливающихся водъ южными верховыми дамами—это предположеніе не оправдалось по причинѣ непредвидѣннаго распространенія водныхъ воронокъ, образующихся передъ отверстіями. Въ настоящее время, имѣя результаты наблюденій 1908 г., можно сказать, что южныя верховыя дамы на дельтѣ могли бы задерживать воды, стремящіяся слиться на югъ, и могли бы рѣшительно вліять на водопропускную работу отверстій лишь въ томъ случаѣ, если бы ихъ длина была настолько велика, что онѣ выходили бы за опорную линію и служили бы искусственными водораздѣлами между воронками; но такое развитіе дамбъ не вызывается необходимостью.

Форма верховыхъ дамбъ. Затѣмъ, наблюденія показали, что поворотъ поемныхъ струй въ мостовое русло совершается не

непосредственно струенаправляющими дамбами, а взаимодействием струй наклоненных къ отверстію подъ разными углами. Въ статьѣ *) о водныхъ воронкахъ предъ отверстиями выяснено, что струи водной воронки имѣютъ вѣрообразное направленіе къ отверстію со всѣхъ сторонъ. При подходѣ къ отверстію струи поворачиваютъ въ него по нѣкоторымъ линіямъ, совпадающимъ съ направленіемъ равнодѣйствующихъ, сталкивающихся струй разнаго направленія (чер. 39. Л. XX). Чѣмъ больше скорости притеканія поемныхъ струй, обозначенныхъ на чертежѣ буквою *n* и чѣмъ меньше скорости въ прибрежной части русла водотока, обозначенныя на чертежѣ буквою *p*, тѣмъ больше радіусъ кривизны той кривой, по которой поемныя воды поворачиваютъ въ русло, тѣмъ сильнѣе поемныя струи врѣзаются въ русловыя и тѣмъ большее сжатіе въ отверстіи они производятъ, образуя въ концахъ отверстія водовороты.

Сливъ поемныхъ водъ въ мостовое русло является одной изъ наиболѣе часто встрѣчающихся причинъ неправильностей теченія въ мостовыхъ руслахъ, — неправильностей, влекущихъ за собою подмывъ мостовыхъ опоръ и уменьшеніе водопропускной способности отверстій. Эти неправильности теченія, происходящія подъ вліяніемъ поемныхъ водъ, вполне устранимы устройствомъ верховыхъ струенаправляющихъ дамбъ рациональной формы, которая выработана по слѣдующимъ соображеніямъ, основаннымъ на результатахъ непосредственныхъ наблюдений.

Если начало поворота поемныхъ струй въ мостовое русло удалить отъ отверстія посредствомъ прямолинейно вытянутыхъ струенаправляющихъ дамбъ (чер. 40. Л. XX), то при достаточной длинѣ дамбъ сжатіе струй въ отверстіи можетъ быть уничтожено, но оно перенесется въ сѣченіе при головной части дамбъ, гдѣ образуются водовороты. Слѣдовательно, однимъ удлиненіемъ дамбъ нельзя уничтожить явленіе перебоя русловыхъ струй поемными водами, и даже напротивъ, при прямолинейномъ очертаніи дамбъ (по чер. 40) перебой струй еще болѣе возрастетъ по сравненію съ случаемъ чер. 39, такъ какъ поемныя струи подходящія къ головамъ дамбъ будутъ соста-

*) Гл. IX.

влять съ русловыми струями еще большій уголъ. Наблюденныя въ большинствѣ дельтовыхъ водотоковъ явленія перебоя и сжатія русловыхъ струй дали указанія, что для уничтоженія этого явленія необходимо удалить начало поворота поемныхъ струй въ мостовое русло не только отъ отверстія, но и отъ мостоваго русла. Эта цѣль достигается приданіемъ верховымъ дамбамъ развернутой формы. При этомъ, для плавности приѣма поемныхъ водъ въ каждомъ частномъ случаѣ требуется соотвѣтствіе размѣровъ и очертанія дамбы мѣстнымъ условіямъ, такъ какъ и при развернутой, обычно примѣняемой формѣ дамбъ, какъ показали наблюденія, происходятъ (чер. 41 и 42. Л. XX) рѣзкіе перебои русловыхъ струй съ образованіемъ въ мостовомъ руслѣ водоворотовъ, распространяющихся на большую или меньшую длину русла въ зависимости отъ степени перебоя струй. На чер. 41 и 42 показанъ распространенный типъ дамбъ; на первомъ чертежѣ у лѣвой дамбы изображено болѣе рѣзкое отклоненіе русловыхъ струй и большой водоворотъ, распространившійся по всей длинѣ мостоваго русла, у правой дамбы — меньшее отклоненіе струй и водоворотъ только съ низовой стороны отверстія. На чер. 42 изображенъ случай отклоненія русловыхъ струй, сопровождающійся водоворотомъ только у одной верховой дамбы; у противоположной же дамбы перебои струй и водоворота нѣтъ. Эти чертежи, изображающіе выясненныя (какъ видно изъ дальнѣйшаго) наблюденіями различныя послѣдствія перебоя русловыхъ струй поемными водами, являются характерными для мостовыхъ руселъ при обычно примѣняемыхъ струенаправляющихъ дамбахъ, въ случаѣ нормальнаго пересѣченія водотока.

Такимъ образомъ, при обычно примѣняемой формѣ струенаправляющихъ дамбъ неправильности теченія въ мостовыхъ руслахъ являются нерѣдко неизбежными вслѣдствіе образованія подъ вліяніемъ поемныхъ водъ сжатого сѣченія ниже входа водъ въ мостовое русло.

Для устраненія перебоя русловыхъ струй поемными водами требуется надлежащее удаленіе отъ мостоваго русла начала поворота поемныхъ водъ и, слѣдовательно, удаленіе головъ верховыхъ дамбъ настолько (чер. 43. Л. XX) чтобы поемныя воды

подъ взаимодействіемъ различно наклоненныхъ къ мостовому руслу струй плавно поворачивали въ него, не врѣзаясь въ русловыя струи. Поэтому въ верховой дамбѣ, кромѣ развернутой формы, имѣетъ важное значеніе удаленіе отъ мостоваго русла головы ея; и это удаленіе должно быть тѣмъ большее, чѣмъ больше живая сила развиваемая поемными водами и чѣмъ меньше живая сила водъ, протекающихъ въ прибрежныхъ частяхъ русла. Принимая при этомъ во вниманіе, что во всѣхъ случаяхъ поемныя струи, идущія къ руслу вдоль полотна, имѣютъ направленіе параллельное ему, слѣдуетъ признать полезнымъ въ цѣляхъ болѣе плавнаго поворота поемныхъ струй придать головной части верховыхъ дамбъ положеніе параллельное оси полотна (участокъ *rs* чер. 43). Кромѣ того, въ тѣхъ видахъ, чтобы поемныя струи *n*, обходящія голову дамбы, производили меньшее отклоненіе струй отъ участка *rs*, полезно продлить головную часть дамбы съ загибомъ ея въ сторону полотна (участокъ *sl* правой дамбы на чер. 43). Дальнѣйшее удлиненіе головы дамбы до соединенія ея съ полотномъ, т. е. приданіе ей замкнутой грушевидной формы, не можетъ оказать особо благоприятнаго вліянія на направленіе струй, а потому не имѣетъ особаго преимущества, и вызываетъ лишь излишніе расходы по устройству дамбъ.

Что касается соединенія головной части дамбъ съ отверстіемъ, то, во избѣжаніе образованія водоворотовъ по длинѣ дамбъ (чер. 43), это соединеніе должно быть сдѣлано по плавной кривой, соответствующей удаленію отъ мостоваго русла головной части дамбъ.

На основаніи изложеннаго выясняется необходимая форма струенаправляющихъ дамбъ, представленная на чер. 46 (Л. XX). Въ поясненіе этого чертежа слѣдуетъ замѣтить, что линія *op* — перпендикулярна къ оси моста; въ точкѣ *p* головная часть дамбы касается линіи параллельной оси моста. Минимальный радіусъ закругленія *R* для соединенія головной части дамбы съ корневою назначенъ въ 10 саж. на томъ основаніи, что при мостахъ на дельтѣ во время прохода высокихъ водъ 1908 г. при дѣйствіи построенныхъ дамбъ, радіусъ кривизны поворота поемныхъ струй наблюдался, за немногими исключеніями, болѣе 10 саж.

Такъ какъ эта величина радіуса сама по себѣ незначительна, то ее слѣдуетъ принять какъ minimum для типа верховыхъ дамбъ при наличіи поймъ. Кривая радіуса ρ введена для плавности сопряженія закругленія головной части верховой дамбы съ прямолинейнымъ участкомъ l ; эта кривая во всѣхъ случаяхъ полезна, но не является необходимой.

Рациональность предлагаемой формы дамбъ подтверждается также опытными данными гидравликовъ, изучавшихъ коэффициенты расхода, сжатія и скорости (Poncelet, Lesbros, Weisbach, Smith), которые установили, что коноидальныя насадки создаютъ наименьшее сжатіе ($\alpha \approx 1.00$) и увеличиваютъ коэффициентъ расхода $\mu = \alpha \phi$ до 0.97—0.98 и даже до 0.995 *).

На основаніи изложеннаго слѣдуетъ заключить, что опредѣлителемъ формы и длины верховыхъ струенаправляющихъ дамбъ является радіусъ ихъ закругленія, который долженъ быть не менѣе предѣла, соотвѣтствующаго кривизнѣ поворота поемныхъ струй при данномъ сочетаніи теченія поемныхъ и русловыхъ водъ, съ тѣмъ чтобы сливъ поемныхъ водъ въ мостовыя русла приходилъ безъ перебоя русловыхъ водъ и безъ образованія водоворотовъ. Если принять во вниманіе, что, по изложенному, удаленіе, головной части дамбы отъ мостоваго русла находится въ прямой зависимости отъ живой силы поемныхъ водъ и въ обратной зависимости отъ живой силы русловыхъ водъ въ прибрежной части русла, то слѣдуетъ заключить, что въ той же зависимости находится и радіусъ закругленія верховой дамбы, и онъ можетъ быть выраженъ функціей:

$$R \geq f_s(\tau, v_n, v_p, q_n, Q_p) \dots \dots \dots (58).$$

Здѣсь τ коэффициентъ, зависящій отъ мѣстныхъ особенностей, подъ v_n и v_p — разумѣются скорости притеканія къ отверстию поемныхъ водъ и русловыхъ въ прибрежной части русла, а подъ q_n и Q_p — расходы соотвѣтственнаго участка поймы и русла.

*) И. Г. Есьманъ. Гидравлика.

Проф. Ф. Е. Максименко. Курсъ Гидравлики.

Такъ какъ для обѣихъ верховыхъ дамбъ эти скорости и расходы въ общемъ случаѣ различны, то и зависящіе отъ соотношенія живыхъ силъ поемныхъ и прибрежныхъ русловыхъ водъ *размѣры каждой верховой дамбы, обслуживающей свою пойму, должны быть, вообще говоря, различны.*

Принимая во вниманіе, что скорости и расходы поемныхъ и прибрежныхъ русловыхъ водъ передъ отверстіемъ возлѣ струенаправляющей дамбы зависятъ прежде всего отъ гидродинамическихъ элементовъ соотвѣтственныхъ участковъ живаго сѣченія, и затѣмъ отъ размѣровъ добавочнаго уклона воронки j , который зависитъ въ свою очередь отъ подпора k , можно заключить, что взаимнѣ выраженія (58) радіусъ верховой дамбы можетъ быть выраженъ въ функціи отъ гидродинамическихъ свойствъ соотвѣтственныхъ участковъ живаго сѣченія примыкающей поймы и прибрежной части русла и отъ подпора образовавшагося при отверстіи.

Кромѣ того, на размѣръ скорости и расхода притекающихъ поемныхъ водъ и на направленіе теченія ихъ возлѣ верховыхъ струенаправляющихъ дамбъ оказываютъ существенное вліяніе находящіяся въ районѣ воронки пересыпанныя русла, лога и сквозные резервы, вырытые на поймѣ при сооруженіи полотна; а потому, величина радіуса верховыхъ дамбъ должна быть сообразована съ положеніемъ и мощностью пересыпанныхъ руселъ, логовъ и резервовъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ изъ изложеннаго вытекаетъ, что мѣстоположеніе и направленіе резервовъ должно быть не случайное, а задано проектомъ въ связи съ очертаніемъ струенаправляющихъ дамбъ; на что указано въ гл. IX.

Кромѣ перечисленнаго къ числу мѣстныхъ особенностей, вліяющихъ на очертаніе дамбъ, относятся также расположеніе отверстія относительно всего обслуживаемаго имъ воднаго пространства и относительно пересѣченнаго участка русла. Если постовое сооруженіе поставлено не нормально къ направленію теченія потока, то въ силу изложеннаго косина пересѣченія увеличиваетъ потребный радіусъ закругленія той верховой дамбы, отъ которой удаляется общее направленіе теченія въ руслѣ, и уменьшаетъ радіусъ закругленія противоположной дамбы. По этому соображенію на чер. 44 (Л. XX), гдѣ изображенъ случай

косаго пересѣченія водотока, лѣвой верховой дамбѣ придано закругленіе бѣльшаго радіуса, чѣмъ правой.

Нельзя не замѣтить, что чер. 44 и приведенное заключеніе о необходимости увеличивать радіусъ закругленія той верховой дамбы, отъ которой удаляется общее направленіе косаго теченія въ руслѣ, расходится съ обычно примѣняемымъ правиломъ: „если направленіе весеннихъ водъ наклонно къ продольной оси моста (рис. 45^a/272 *) Л. XX), то одну изъ дамбъ *встрѣчную* къ направленію теченія, слѣдуетъ сдѣлать болѣе длинною, чѣмъ другую“ (Мосты Проф. Л. Ф. Николаи, стр. 209).

Изложенное приводитъ къ заключенію, что форма верховыхъ струенаправляющихъ дамбъ обуславливается сочетаніемъ слѣдующихъ факторовъ: скорости притеканія къ мостовому руслу поемныхъ водъ и расхода ихъ, скорости теченія и расхода русловыхъ водъ въ прибрежныхъ частяхъ русла, положенія отверстія относительно общаго направленія теченія потока и относительно пересѣченнаго участка русла, положенія и размѣровъ пересыпанныхъ руселъ, логовъ и открытыхъ резервовъ на поймахъ въ районѣ воронки. Объединяя эти факторы, можно сдѣлать заключеніе, что форма верховыхъ струенаправляющихъ дамбъ зависитъ отъ гидродинамическихъ свойствъ соответственныхъ участковъ живаго сѣченія примыкающей поймы и прибрежной части русла, отъ подпора образовавшагося при отверстіи и отъ положенія отверстія относительно общаго бытоваго теченія потока и пересѣченнаго участка русла.

Поэтому становится яснымъ, что благопріятное вліяніе на работу струенаправляющихъ дамбъ окажутъ тѣ мѣры, которыя служатъ къ уменьшенію подпора (гл. IX).

Путемъ дальнѣйшихъ наблюденій надъ существующими сооружениями можетъ быть выяснена дѣйствительная кривизна поворота поемныхъ водъ при различныхъ сочетаніяхъ всѣхъ вліяющихъ факторовъ; тогда функціональное выраженіе (58) приметъ явный видъ, и явится возможность въ каждомъ частномъ случаѣ съ достаточнымъ основаніемъ назначать потребный радіусъ R и опредѣлять нужное очертаніе верховыхъ дамбъ.

*) Рис. 45^a/272 извлеченъ изъ „Мостовъ“ Проф. Л. Ф. Николаи.

Прямолинейный участок дамбъ. Дальнѣйшей составной частью дамбъ является прямолинейный участок l , нормальный къ отверстию (чер. 46). Въ случаѣ нормальнаго пересѣченія водотока длина l прямолинейнаго участка не имѣетъ существеннаго значенія, такъ какъ при раціональной формѣ верховыхъ дамбъ поемныя воды не производятъ перебоя русловыхъ струй и потому воды въ отверстіи протекаютъ параллельно струйно и нормально къ мостовымъ опорамъ. Въ этомъ случаѣ участок l можетъ быть назначаемъ короткимъ, не длиннѣе 10 саж., по 5 саж. выше и ниже оси моста. При малыхъ отверстіяхъ желательно длину участка l еще болѣе уменьшать, до 5—7 саж., въ цѣляхъ уменьшенія работы тренія по длинѣ суженнаго мостоваго русла.

Въ случаѣ же косога пересѣченія водотока или недостаточнаго радіуса R закругленія верховой дамбы, обстоятельства мѣняются и прямолинейный участок l пріобрѣтаетъ значеніе для урегулированія струй въ отверстіи. Сравненіе между собою чер. 41 и 42 (лѣвая половина русла) наглядно показываетъ вліяніе удлиненія прямолинейнаго участка дамбъ на ограниченіе водоворота въ мостовомъ руслѣ, происходящаго отъ недостаточности радіуса закругленія верховыхъ дамбъ. Въ этомъ случаѣ имѣетъ значеніе удлиненіе *верховой части* прямолинейнаго участка дамбъ. Въ случаѣ же косога пересѣченія полезно удлиненіе прямолинейнаго участка l какъ въ верховую, такъ и въ низовую сторону (чер. 44), такъ какъ верховой участокъ служитъ для выправленія косыхъ струй до подхода къ отверстию, а низовой участокъ предохраняетъ теченіе въ отверстіи отъ вліянія косыхъ струй ниже его, точнѣе сказать, не допускаетъ распространенія низовыхъ косыхъ струй вверхъ до отверстія.

Однако-жъ, слѣдуетъ замѣтить, что выправленіе посредствомъ дамбъ косыхъ струй въ мостовомъ руслѣ при косомъ пересѣченіи водотока вообще затруднительно. Въ случаѣ сколько-нибудь значительнаго угла косины пересѣченія, можетъ потребоваться весьма большая длина участка l для того, чтобы теченіе подъ мостомъ приняло направленіе близкое къ нормальному; и все же, несмотря на длину дамбъ, косина струй неизбѣжно скажется на низовыхъ дамбахъ (чер. 44); причемъ одна изъ нихъ,

въ сторону которой наклонены струи, будетъ находиться благодаря дѣятельному водовороту въ тяжелыхъ условіяхъ, легко вызывающихъ подмывы (правая низовая дамба); у противоположной же дамбы можетъ образоваться менѣе дѣятельный водоворотъ (лѣвая низовая дамба).

Въ разсматриваемомъ случаѣ на выправленіе косыхъ струй оказываетъ вліяніе, кромѣ угла косины пересѣченія, также величина отверстія и чѣмъ больше эта величина, тѣмъ труднѣе выправленіе косыхъ струй и тѣмъ большая потребуется длина прямолинейнаго участка *l*.

Ввиду изложеннаго, *представляется важнымъ во всѣхъ случаяхъ, по возможности, не возлагать на струенаправляющія дамбы непосильной работы и пересѣкать водотоки нормально къ теченію высокихъ водъ.*

Точно также слѣдуетъ избѣгать постройки моста, хотя и нормально къ водотоку, но на участкѣ расположенномъ непосредственно выше мѣста поворота русла, такъ какъ при такихъ условіяхъ (чер. 45. Л. XX), подобно случаю косаго пересѣченія, неизбѣжно образованіе косыхъ струй въ мостовомъ руслѣ и дѣятельнаго водоворота у низовой дамбы, расположенной съ той стороны, куда поворачиваетъ русло. У противоположной низовой дамбы при этомъ также возможно образованіе водоворота, хотя и менѣе дѣятельнаго. Въ условіяхъ изображенныхъ на чер. 45 удлиненіе прямолинейнаго участка дамбъ съ верховой стороны бесполезно, въ противоположность случаю изображенному на чер. 44; удлиненіе же прямолинейнаго участка съ низовой стороны принесетъ пользу тѣмъ, что не допуститъ распространенія низовыхъ косыхъ струй и водоворота вверхъ до самаго отверстія. Однако-жъ, чѣмъ болѣе удлинять въ этомъ случаѣ прямолинейный участокъ низовыхъ дамбъ, тѣмъ рѣзче выразятся въ мостовомъ руслѣ ниже отверстія косыя струи и водоворотъ у встрѣчной низовой дамбы (правой на чер. 45), подъ вліяніемъ близлежащаго поворота русла. Такимъ образомъ, *пересѣченіе водотока передъ поворотомъ русла имѣетъ тѣ же послѣдствія въ низовой половинѣ мостоваго русла, что и косое пересѣченіе; а потому, во всѣхъ случаяхъ, гдѣ выше говорилось о*

вліяніи косины пересѣченія слѣдуетъ разумѣть также и пересѣченіе водотока передъ поворотомъ.

Чер. 44 и 45 составленныя на основаніи наблюденій приводятъ къ заключенію, что воды, прошедшія черезъ отверстіе, устремляются въ главной своей массѣ по пути наименьшаго сопротивленія въ болѣе мощное бытовое русло и если участокъ главнаго русла, лежащій ниже отверстія, имѣетъ направленіе косое въ отношеніи отверстія, то теченіе въ мостовомъ руслѣ получаетъ соотвѣтственное отклоненіе отъ нормальнаго. Въ этомъ случаѣ неизбѣжны косыя струи въ низовой части мостоваго русла и водовороты у низовыхъ дамбъ; и это явленіе, происходящее подъ вліяніемъ причины, кроющейся ниже отверстія, не можетъ быть сполна устранено струенаправляющими дамбами. Слѣдовательно, принимая во вниманіе, что неправильности теченія въ мостовомъ руслѣ, происходящія отъ причинъ, кроющихся выше отверстія (притеканіе поемныхъ водъ и косое направленіе русла выше отверстія), совершенно устранимы струенаправляющими дамбами, слѣдуетъ заключить, что ненормальное къ отверстію *вытеканіе* водъ изъ мостоваго русла не только имѣетъ существенное вліяніе на теченіе въ мостовомъ руслѣ и на водопропускную работу отверстія, но оно сопровождается, даже при раціонально построенныхъ дамбахъ, болѣе серьезными послѣдствіями, чѣмъ косое притеканіе водъ къ отверстію; иначе говоря, *на работу отверстія вліяетъ не только положеніе вышележащаго участка водотока, но также, и еще рѣшительнѣе, положеніе нижележащаго участка.* Это заключеніе подтверждаетъ выводы гл. IX о важномъ значеніи, которое имѣетъ нормальное къ отверстію положеніе пересѣкаемаго участка русла какъ выше, такъ и ниже отверстія, по возможности, на протяженіи водной воронки и бугра.

Выяснивъ вредныя послѣдствія косаго пересѣченія водотока, или пересѣченія передъ поворотомъ, умѣстно замѣтить, что *при неизбѣжности косаго пересѣченія водотока или устройства отверстія вблизи нижележащаго поворота русла, пріобрѣтаетъ особое значеніе регулированіе водотока, которое должно имѣть цѣлью созданіе прямолинейныхъ и нормальныхъ къ отверстію участковъ русла выше и ниже отверстія.* Только такимъ способомъ можетъ

быть достигнуто въ этомъ случаѣ полное выправленіе струй въ мостовомъ руслѣ не только въ верховой его части, но и въ низовой, съ уничтоженіемъ всѣхъ водоворотовъ.

Въ частномъ случаѣ можетъ оказаться цѣлесообразнымъ для успѣха регулированія потока въ мостовомъ руслѣ поставить мостъ на искусственно разработанномъ отводѣ русла съ засыпкой старорѣчья. Въ случаяхъ изображенныхъ на чер. 44 и 45 было бы полезно перенести, или лучше удлинитъ мостъ въ сторону косины низоваго участка водотока, вправо по чертежу. Во всѣхъ случаяхъ, памятуя непоправимое искаженіе теченія въ мостовомъ руслѣ, вліяющее на безопасность сооруженія, каковое искаженіе при наличности поймъ производится косымъ низовымъ участкомъ русла или поворотомъ его вблизи отверстія, *слѣдуетъ отводъ русла производить, по возможности, съ такимъ расчетомъ, чтобы ниже отверстія участокъ русла получился прямолинейный*; вліяніе же поворота верховаго участка всегда можетъ быть анулировано соответственнымъ развитіемъ верховой струенаправляющей дамбы, внутренней въ отношеніи поворота. Подобная разбивка сдѣлана на чер. 173 (Л. LXXVII), гдѣ болѣе раціональный отводъ русла показанъ по направленію *ab*, вмѣсто не рѣдко рекомендуемаго въ такихъ случаяхъ направленія *cd*.

Причина, почему рекомендуется послѣднее направленіе *cd*, выставляется *) та, что такъ какъ потокъ направится вдоль насыпи по выходѣ изъ подъ моста, то въ случаѣ размыва русла, потокъ будетъ подвигаться отъ насыпи, а не къ насыпи, какъ это будто бы имѣетъ мѣсто при направленіи *ab*. Въ дѣйствительности же при направленіи *cd* теченіе въ мостовомъ руслѣ будетъ косое и возлѣ правой низовой дамбы образуется водоворотъ, грозящій ея устойчивости, а также устойчивости прилегающаго участка насыпи. Съ верховой же стороны при содѣйствіи раціональныхъ струенаправляющихъ дамбъ безопасность сооруженій можетъ быть обезпечена одинаково при обоихъ направленіяхъ отвода.

Въ случаѣ, если при неизбѣжно-косомъ переходѣ затруднительно почему либо прибѣгнуть къ регуляціоннымъ работамъ,

*) Проф. Г. П. Передерій. „Мосты“ стр. 7, гл. VI.

то можетъ оказаться болѣе правильнымъ отказаться отъ мысли привести теченіе къ направленію нормальному къ отверстію, а построить косо искусственное сооруженіе съ опорами и струенаправляющими дамбами, расположенными косо въ отношеніи отверстія, но по линіи направленія теченія. При такомъ рѣшеніи, какъ бы оно ни было не желательно въ отношеніи конструкціи сооруженія *), по крайней мѣрѣ устраняются подмывы опоръ и струенаправляющихъ дамбъ, производимые косыми струями.

Полная длина верховыхъ дамбъ. Закончивъ описаніе значенія второй части дамбъ, именно, прямолинейнаго ихъ участка, представляется возможнымъ выяснитъ значеніе полной длины верховыхъ дамбъ.

Изъ чер. 46 (Л. XX), а также изъ описанія значенія верховой дамбы, ея головной части и прямолинейнаго ея участка видно, что длина верховой дамбы является функціей отъ величинъ R и l_1 , и сама по себѣ, при нормальномъ пересѣченіи водотока и при надлежаще назначенной величинѣ радіуса закругленія R , не имѣетъ значенія для водопропускной работы мостового русла; въ этомъ случаѣ важна форма дамбы, а не ея длина. Наименьшая длина верховой дамбы или точнѣе удаленіе ея головной части отъ полотна (длина L_1 по чер. 46), въ случаѣ нормальнаго пересѣченія водотока при наличіи поймы, опредѣляется:

$$\text{min. } L_1 = l_1 + R = 15 \text{ саж.},$$

если принять $\text{min. } l_1 = 5$ саж. и $\text{min. } R = 10$ саж. Въ частномъ случаѣ, особенно при малыхъ отверстіяхъ, длина прямолинейнаго участка верховыхъ дамбъ можетъ быть назначена, какъ уже отмѣчено, менѣе 5 саж.; при этомъ уменьшится и полная длина дамбъ.

Кромѣ того, изъ изложеннаго видно, что *форма и длина верховыхъ дамбъ при нормальномъ пересѣченіи водотока не имѣетъ непосредственной связи съ величиной отверстія, и во всякомъ слу-*

*) Косыя опоры предусмотрены § 42 Техническихъ Условій проектированія и сооруженія магистральныхъ жж. дд.

чаѣ, часто практикуемое правило—придавать дамбамъ длину равную не менѣе половины длины отверстія, не имѣть подѣ собою основанія. Напротивъ, при большихъ отверстіяхъ скорѣ возможны такіе случаи, когда относительное количество притекающихъ съ поймы водъ и скорость ихъ притеканія въ отношеніи количества прибрежныхъ русловыхъ водъ и ихъ скоростей малы, и потому, радіусы R и длины верховыхъ дамбъ могутъ быть назначены малыми. Наконецъ, въ предѣльномъ случаѣ, когда русло, перекрытое большимъ отверстіемъ не имѣетъ совсѣмъ поймы ($v_n = q_n = 0$), тогда верховыя дамбы при нормальномъ пересѣченіи вовсе не нужны (такова р. Нева). *Длина верховыхъ дамбъ, собственно прямолинейнаго ихъ участка, какъ выяснено выше, приобретаетъ значеніе въ случаѣ косога пересѣченія водотока, и только въ этомъ случаѣ она имѣетъ связь съ величиною отверстія; именно, чѣмъ больше отверстіе при косомъ пересѣченіи, тѣмъ требуется большая длина прямолинейнаго участка верховыхъ дамбъ.*

Приведенное изслѣдованіе значенія длины верховыхъ дамбъ не согласуется съ существующими правилами. На стр. 208 въ „Мостахъ“ Проф. Л. Ф. Николаи говоритъ: „что касается, наконецъ, длины струенаправляющихъ дамбъ, то въ этомъ отношеніи «установилось практическое правило: дѣлать длину каждой дамбы «около половины или полной величины отверстія моста“. Въ качествѣ теоретическаго подтвержденія этого установившагося практическаго правила Проф. Николаи указываетъ на опыты Lesbros, которые показали, что въ истеченіи жидкости черезъ насадку совершенное заполненіе и правильное направленіе струекъ замѣчается на разстояніи $3d$ отъ входнаго отверстія въ насадку, если d — діаметръ насадки. Приравнивая струенаправляющія дамбы къ насадкамъ, Проф. Л. Ф. Николаи говоритъ: „казалось бы, что длина дамбы, на основаніи вышеизложеннаго, «должна быть равною $3d$, если d —отверстіе моста. Но такъ «какъ въ мостовомъ сооруженіи сжатіе струи не полное, то «выравниваніе теченія должно произойти на меньшемъ, чѣмъ « $3d$, протяженіи, что и оправдываетъ назначеніе длины дамбы, «равной половинѣ или полной величинѣ отверстія“.

Наблюденія водъ на дельтѣ, приведшія къ заключенію, что при нормальномъ пересѣченіи водотока длина верховыхъ дамбъ не зависитъ отъ величины отверстія, даютъ основанія для того вывода, что примѣненіе результатовъ опытовъ Lesbros, произведенныхъ въ маломъ масштабѣ, къ работѣ струенаправляющихъ дамбъ есть одинъ изъ случаевъ, подтверждающихъ *) ошибочность распространенія выводовъ изъ лабораторныхъ опытовъ на явленія хотя и того же порядка, но имѣющія огромные по сравненію съ лабораторными масштабы, а потому не тождественныя съ ними.

Нельзя къ изложенному не прибавить, что *измѣняя длина дамбъ и верховыхъ, и низовыхъ всегда не умѣстна*, какъ по экономическимъ соображеніямъ, такъ и по той причинѣ, что струенаправляющія дамбы, какъ насадки, создаютъ на ряду съ урегулированіемъ теченія въ мостовомъ руслѣ также и дополнительное гидравлическое сопротивленіе.

Низовыя струенаправляющія дамбы. Переходимъ къ работѣ низовыхъ струенаправляющихъ дамбъ.

Съ низовой стороны отверстія водная поверхность, какъ уже извѣстно, имѣетъ форму бугра, разливающегося во всѣ стороны, насколько это позволяютъ мѣстныя условія. Ввиду этого, въ цѣляхъ достиженія плавнаго перехода отъ увеличенной скорости въ отверстіи къ нормальной скорости ниже его, безъ образованія водоворотовъ и вообще въ цѣляхъ уменьшенія дополнительной работы тренія, которая именно при подобныхъ условіяхъ развивается согласно теоремѣ Борда, низовымъ дамбамъ вслѣдъ за окончаніемъ прямолинейнаго участка l (чер. 46) должна быть придана развернутая форма, подобно расходящимся насадкамъ, и радіусъ r закругленія головной части низовыхъ дамбъ долженъ быть тѣмъ больше, чѣмъ съ бѣльшею скоростью воды протекаютъ въ прибрежной части мостоваго русла ниже отверстія и чѣмъ съ бѣльшею скоростью и въ бѣльшей массѣ воды сливаются изъ русла на пойму ниже отверстія. Иначе говоря,

*) Гл. IX. Статья „Объ организаціи дальнѣйшихъ непосредственныхъ наблюденій...“.

подобно верховымъ дамбамъ, радіусъ r закругленія каждой низовой дамбы находится въ зависимости отъ размѣровъ и гидравлическихъ свойствъ соответственныхъ участковъ живаго сѣченія примыкающей къ дамбѣ части низовой поймы и прибрежной части русла, и отъ подпора, образовавшагося при отверстіи.

На количество и скорости сливающейся на пойму воды оказываютъ вліяніе въ числѣ мѣстныхъ особенностей пересыпанные русла и низовые резервы; а потому, радіусъ каждой низовой дамбы долженъ быть сообразованъ съ положеніемъ и размѣромъ пересыпанныхъ руселъ и открытыхъ низовыхъ резервовъ. При наличности пересыпанныхъ руселъ и низовыхъ резервовъ, привлекающихъ изъ мостоваго русла на пойму большую массу водъ и съ большими скоростями, радіусъ примыкающей низовой дамбы долженъ быть увеличенъ.

Вмѣстѣ съ тѣмъ, въ предупрежденіе значительнаго размыва истоковъ низовыхъ резервовъ, который можетъ повлечь за собою увеличеніе скоростей водъ, сливающихся въ резервы, и образованіе водоворотовъ у низовыхъ дамбъ (случай подобный чер. 45), необходимы мѣры по закрѣпленію истоковъ низовыхъ резервовъ.

Наблюденія водъ 1908 г. привели къ заключенію, что при мостахъ на Волжской дельтѣ и, вѣроятно, во многихъ другихъ случаяхъ, достаточенъ радіусъ закругленія низовыхъ дамбъ $r = 10$ саж.; этотъ радіусъ какъ минимальный и включенъ въ типовой чертежъ дамбъ (чер. 46), для случая нормальнаго пересѣченія водотока; причемъ уголъ α развертыванія низовыхъ дамбъ при нормальныхъ условіяхъ достаточно назначать около 70° .

Такимъ образомъ, длина низовыхъ дамбъ, или точнѣе выносъ ихъ отъ полотна, при нормальномъ пересѣченіи водотока въ большинствѣ случаевъ, можетъ быть незначительнымъ:

$$L_2 = l_2 + r \sin \alpha = 5 + 9.4 = \approx 14 \text{ саж.}$$

При малыхъ отверстіяхъ, какъ уже замѣчено, желательно, по возможности, назначать длину прямолинейнаго участка низовыхъ дамбъ менѣе 5 саж.; причемъ общая длина дамбъ также уменьшится.

Такъ какъ условія слива воды на пойму лѣваго и праваго береговъ различны, то, вообще говоря, различны должны быть очертанія и размѣры обѣихъ низовыхъ дамбъ.

Подобно верховымъ дамбамъ, *длина низовыхъ дамбъ при нормальномъ пересѣченіи потока и русла не имѣетъ непосредственной связи съ величиною отверстія.* При отсутствіи поймъ или при отсутствіи слива воды на пойму непосредственно ниже отверстія вслѣдствіе возвышенныхъ гривокъ, низовыя дамбы такъ же какъ и верховыя, не имѣютъ значенія и потому не нужны, если присутствіе ихъ не вызывается косыми струями въ мостовомъ руслѣ; иначе говоря, когда скорость воды, сливающейся на пойму ниже отверстія, равна нулю, тогда и $v = 0$; и если при этомъ теченіе въ мостовомъ руслѣ параллельноструйное и нормальное къ отверстию, то и длина $L_2 = 0$.

Въ случаѣ косаго пересѣченія водотока или пересѣченія вблизи нижележащаго поворота русла, косое направленіе струй ниже моста, какъ выше выяснено, вліяетъ на направленіе струй въ мостовомъ руслѣ, гдѣ струи также стремятся принять такое же косое направленіе (чер. 44 и 45). Въ этихъ случаяхъ низовыя струенаправляющія дамбы, кромѣ содѣйствія плавности разлива водъ безъ водоворотовъ изъ мостоваго русла на пойму, пріобрѣтаютъ еще значеніе для выправленія струй въ отверстіи, такъ какъ онѣ должны не допустить распространенія косаго направленія теченія въ низовомъ участкѣ русла вверхъ до самаго отверстія. Борьбу съ низовыми косыми струями ведетъ, какъ выяснено, прямолинейный участокъ низовыхъ дамбъ, и длина его, а слѣдовательно и длина низовыхъ дамбъ въ указанныхъ случаяхъ зависятъ отъ угла косины низоваго участка русла въ отношеніи отверстія и отъ величины отверстія; *чѣмъ больше уголъ косины низоваго участка водотока и чѣмъ больше величина отверстія, тѣмъ большая требуется длина прямолинейнаго участка низовыхъ дамбъ и большая полная ихъ длина для того, чтобы не допустить распространія косыхъ струй вверхъ до самаго моста.* Но, какъ выше выяснено, какъ бы длинны ни были низовыя дамбы, онѣ въ случаѣ косаго пересѣченія водотока или пересѣченія передъ поворотомъ русла, не могутъ совершенно устранить неправильности теченія въ мостовомъ руслѣ, и въ выход-

ной его части образованіе косыхъ струй и водоворотовъ неизбѣжно (чер. 44 и 45).

Такимъ образомъ, въ случаѣ ненормальнаго пересѣченія водотока или пересѣченія передъ поворотомъ длина низовыхъ дамбъ, собственно ихъ прямолинейнаго участка, имѣетъ серьезное значеніе для водопропускной работы отверстія.

Въ разбираемыхъ случаяхъ косаго пересѣченія водотока или пересѣченія передъ поворотомъ, умѣстно, для предохраненія полотна отъ дѣйствія дѣятельнаго водоворота, удлиненіе въ сторону полотна головной части той низовой дамбы, въ сторону которой направлены косыя струи, какъ показано пунктиромъ на чер. 44 и 45.

На основаніи изложеннаго, *размѣръ и очертаніе каждой низовой дамбы, подобно верховымъ дамбамъ, зависитъ отъ слѣдующихъ факторовъ: отъ гидродинамическихъ свойствъ участков живаго стеченія примыкающей поймы и прибрежной части русла, отъ величины подпора образовавшагося при отверстіи, отъ положенія отверстия относительно всего водотока и низоваго участка русла, и отъ положенія на поймѣ и размѣровъ пересыпанныхъ руселъ, логовъ и открытыхъ резервовъ.*

Выясненное значеніе низовыхъ струенаправляющихъ дамбъ находится въ противорѣчій съ существующимъ взглядомъ, по которому „струенаправляющія дамбы съ низовой стороны не имѣютъ такого первостепеннаго значенія на работу моста, какъ «дамбы съ верховой стороны; тѣмъ не менѣе и онѣ въ нѣкоторыхъ случаяхъ бываютъ необходимы, чтобы отклонить русло «отъ полотна, и т. д.» (Николай. Мосты стр. 210—211). Та же мысль объ отсутствіи значенія за низовыми струенаправляющими дамбами проводится Проф. Л. Ф. Николай въ другомъ мѣстѣ его труда: „для того, чтобы предупредить вредное вліяніе на- «правленія струи на отдѣльныя опоры и, по возможности, со- «дѣйствовать болѣе правильному прохождению струи въ предѣлахъ «мостовыхъ опоръ, т. е. перпендикулярно къ продольной оси «моста необходимо съ верховой стороны устраивать направляю- «щія дамбы достаточной длины съ соотвѣтственнымъ укрѣпле- «ніемъ головы дамбы, сопрягая пологой кривой корневую часть «дамбы съ насыпью полотна дороги, во избѣжаніе водоворота“

(Мосты, стр. 171—172). Насколько несправедливо отрицаніе значенія низовыхъ дамбъ выяснено вышеприведеннымъ изслѣдованіемъ.

Умѣстность струенаправляющихъ дамбъ при малыхъ отверстіяхъ. Выясненіе значенія верховыхъ и низовыхъ струенаправляющихъ дамбъ привело къ тому заключенію, что при нормальномъ пересѣченіи потока размѣры дамбъ не зависятъ отъ величины отверстій. Если при этомъ принять во вниманіе, что чѣмъ меньше отверстіе, тѣмъ бѣльшее относительное вліяніе оказываютъ на проходъ водъ въ немъ и на водопропускную его способность неправильности теченія, косыя струи, водовороты и сжатіе струи, то становится яснымъ, что *обычное отсутствіе струенаправляющихъ дамбъ при малыхъ отверстіяхъ является неправильнымъ, такъ какъ, именно, при малыхъ отверстіяхъ дамбы не рѣдко болѣе нужны, чѣмъ при большихъ отверстіяхъ и примѣненіе ихъ при малыхъ отверстіяхъ должно сопровождаться болѣе рѣшительнымъ благопріятнымъ результатомъ, чѣмъ при большихъ отверстіяхъ.* Къ числу малыхъ отверстій должны быть отнесены не только открытые мостики, но въ равной мѣрѣ и каменные трубы.

Если принять во вниманіе, что стоимость небольшихъ струенаправляющихъ дамбъ составляетъ ничтожную долю общей стоимости устройства всего перехода черезъ потокъ, то, казалось бы, не должно встрѣтиться практическихъ затрудненій въ устройствѣ струенаправляющихъ дамбъ при всѣхъ малыхъ отверстіяхъ, гдѣ онѣ явятся весьма полезнымъ прибавленіемъ.

О наблюденномъ сильномъ сжатіи струи въ малыхъ пролетахъ деревянныхъ мостовъ на дельтѣ было уже сообщено въ гл. IX. Къ той же категоріи явленій, несомнѣнно, относится присущее трубамъ явленіе подпорнаго подъема и перепада водъ въ самыхъ трубахъ въ верховой ихъ части (чер. 183/299 *). **Л. LXXX).** Протяженіе перепада въ трубахъ обычно опредѣляется **) отъ 1.5 до 2.5 саж. отъ входнаго отверстія. Это

*) Чер. 183/299 извлеченъ изъ „Мостовъ“ Проф. Л. Ф. Николаи.

**) По таблицѣ примѣненной на Средне-Сибирской жел. дор. и вычисленной на основаніи формулы Инж. Е. Ю. Подруцкаго.

явленіе признается какъ бы специфически неизбѣжнымъ, такъ какъ принимается, что оно есть переходъ отъ подпорнаго горизонта къ горизонту въ трубѣ, т. е. составляетъ полный подпоръ. Между тѣмъ какъ на основаніи всего изложеннаго въ настоящей и предыдущихъ главахъ можно высказать увѣренность, что это явленіе не представляетъ собою полного подпора, который въ дѣйствительности разрѣшается не на ничтожномъ разстояніи $1\frac{1}{2}$ —2 с., а на большомъ протяженіи воронки и бугра; а это явленіе есть вторичный мѣстный подпоръ передъ самымъ отверстіемъ и отчасти въ отверстіи, который образуется вслѣдствіе сжатія струи съ водоворотами при входѣ воды въ пролеты отверстія, и который показанъ на чер. 147 (Л. LXX) на протяженіи λ . Сжатіе воднаго потока при входѣ въ отверстіе происходитъ вслѣдствіе перебоя русловыхъ струй боковыми струями водной воронки и русловыми опорами. То же явленіе наблюдается въ насадкахъ въ стѣнкѣ сосуда (чер. 184. Л. LXXX). Труба представляетъ собою также насадку; причемъ на томъ протяженіи ея отъ входнаго конца ab , (чер. 184), на которомъ происходитъ сжатіе, труба работаетъ не полною шириною сѣченія, такъ какъ у стѣнокъ образуются водовороты; а потому, горизонтъ воды на протяженіи ab долженъ быть выше по сравненію съ нижележащимъ участкомъ трубы bc , гдѣ сжатіе исчезаетъ и вода проходитъ по всей ширинѣ сѣченія съ выправленными струями и съ увеличенною среднею скоростью, отнесенною ко всему живому сѣченію. *Съ устройствомъ передъ трубами рациональныхъ струенаправляющихъ дамбъ разсматриваемое явленіе въ трубахъ, считающееся какъ бы неизбѣжнымъ, должно почти исчезнуть, вслѣдствіе того, что дамбами будутъ устранены перебой струй, водовороты и сильное сжатіе въ отверстіи. Такимъ образомъ, въ результатъ устройства дамбъ поднимется водопропускная способность каменныхъ трубъ и не будетъ надобности повышать высоту устоевъ трубъ на 33% на протяженіи отъ 1.5 до 2.5 саж. отъ входнаго конца* (чер. 183. Л. LXXX), какъ это предложено Инженернымъ Совѣтомъ по журналу № 63—1898 г.

Весьма желательно провѣрить это заключеніе на практикѣ.

Поперечное сѣченіе дамбъ. Переходя къ поперечному сѣченію струенаправляющихъ дамбъ, слѣдуетъ отмѣтить въ отношеніи ихъ ширины по верху, что такъ какъ при нормальномъ пересѣченіи водотока и при рациональномъ очертаніи дамбъ ими непосредственно не отклоняются струи, то тѣло дамбы не испытываетъ дѣйствія удара струй, а подвержено лишь вліянію разности горизонтовъ по обѣ ея стороны. Эта разность при не большой длинѣ дамбъ не можетъ быть значительной; на дельтѣ она составляла во всѣхъ случаяхъ менѣе 0.12 саж.; а потому, вообще говоря, *нѣтъ необходимости назначать большую ширину дамбъ по верху.* Во многихъ случаяхъ достаточно ширины въ 1.5 саж.

Откосы дамбъ со стороны русла во всѣхъ случаяхъ подвержены дѣйствію продольнаго теченія водъ и волненія, а потому, требуютъ соотвѣтственной пологости и надежнаго укрѣпленія въ соотвѣтствіи съ наибольшими скоростями теченія въ прилегающихъ участкахъ мостовыхъ руселъ и съ наибольшей силой волненія. На дельтовомъ участкѣ во всѣхъ случаяхъ достаточны откосы $1:1\frac{1}{2}$ съ укрѣпленіемъ каменной одеждой по слою щебня въ плетневыхъ клѣткахъ. Такіе же откосы могутъ быть сохранены и для головныхъ частей дамбъ.

Полевые откосы дамбъ подвержены главнымъ образомъ дѣйствію волненія, такъ какъ теченіе съ полевой стороны сравнительно слабо.

Въ случаѣ косыхъ струй въ мостовомъ руслѣ, полезно придавать усиленный профиль дамбамъ на длинѣ подверженной дѣйствію водоворотовъ, особенно встрѣчной низовой дамбѣ подверженной дѣйствію дѣятельнаго водоворота; но и въ этомъ случаѣ нѣтъ необходимости въ уширеніи дамбъ по верху, а болѣе соотвѣтственнымъ представляется увеличеніе пологости рѣчнаго откоса до 1:3, или даже до болѣе пологого уклона, при надежной одеждѣ. *Вообще пологость откосовъ дамбъ имѣетъ болѣе существенное значеніе, чѣмъ уширеніе ихъ.*

Наблюденныя неправильности прохода водъ въ мостовыхъ руслахъ и выясненіе ихъ причинъ.

Изложивъ общіе выводы изъ наблюденій высокихъ водъ 1908 г. въ отношеніи струенаправляющихъ дамбъ, приведшіе къ выработкѣ новаго нормального типа дамбъ *), переходимъ къ описанію наблюденныхъ частныхъ случаевъ, которые послужили къ составленію этихъ выводовъ.

Радіусъ кривизны поворота поемныхъ струй въ мостовое русло въ большинствѣ случаевъ превышалъ 10 саж., т. е. превышалъ тотъ minimum радіуса R закругленія верховыхъ дамбъ, который введенъ въ типъ на чер. 46 (Л. XX). Точное установленіе наблюденіями кривизны поворота струй затруднительно; а потому, такія наблюденія производились засѣчками лишь въ нѣсколькихъ случаяхъ, на всѣхъ же водотокахъ въ періодъ прохода высокихъ водъ наблюдались углы наклона струй уже въ мостовомъ руслѣ выше моста между струенаправляющими дамбами, преимущественно въ сѣченіи близкомъ къ началу прямолинейнаго участка дамбъ; эти углы характеризуютъ кривизну поворота поемныхъ водъ. Наблюденные углы отклоненія русловыхъ струй отъ нормали къ отверстію приведены въ вѣд. 60, въ которой эти углы сопоставлены съ соотвѣтственными въ томъ же сѣченіи скоростями теченія въ береговыхъ частяхъ мостоваго русла, со скоростями притеканія поемныхъ водъ возлѣ головъ дамбъ и съ углами косины пересѣченія водотока. Для того, чтобы судить по вѣд. 60 о степени нарушенія правильности теченія въ мостовомъ руслѣ подъ вліяніемъ притеканія поемныхъ водъ, слѣдуетъ вычитать изъ наблюденныхъ угловъ отклоненія мостовыхъ струй отъ нормали къ отверстію углы косины пересѣченія водотока.

Приведенныя въ вѣд. 60 скорости въ береговыхъ частяхъ мостовыхъ руселъ наблюдаемы, какъ уже сказано, между струенаправляющими дамбами, въ сѣченіи близкомъ къ началу прямолинейнаго участка дамбъ. По этому поводу нельзя не замѣтить, что хотя эти скорости характеризуютъ теченіе русловыхъ водъ въ береговыхъ частяхъ, но, для цѣли выясненія зависимости

*) Нормальный типъ дамбъ введенъ въ проекты переходовъ черезъ р.р. Волгу и Донъ, составленные для линіи Саратовъ-Миллерово (чер. 180 и 181. Л. LXXIX).

степени отклоненія русловыхъ струй отъ сочетанія скоростей поемныхъ и русловыхъ водъ, было бы болѣе соотвѣтственнымъ, если бы со скоростями поемныхъ водъ были сопоставлены русловыя скорости не между струенаправляющими дамбами, а въ сѣченіи выше ихъ; но, болѣе детально скорости наблюдались въ предѣлахъ струенаправляющихъ дамбъ.

Направленіе струй при проходѣ водъ черезъ всѣ отверстія на дельтѣ и вообще наблюденная картина протеканія водъ во всѣхъ мостовыхъ руслахъ и непосредственно выше и ниже ихъ представлены на чер. 99—112 (Л. III—LVIII).

Изъ вѣд. 60 и изъ чер. 99—112 видно, что наиболѣе рѣзкій перебой русловыхъ струй имѣлъ мѣсто на ер. Безымянномъ (чер. 103) въ сѣверной половинѣ русла и въ мостовомъ руслѣ 511 вер. (чер. 112 Отводъ 3-хъ ериковъ) у южной верховой дамбы. Въ первомъ случаѣ (чер. 103) перебой струй произошелъ подъ вліяніемъ значительнаго превышенія скоростей притеканія сѣверныхъ поемныхъ водъ надъ русловыми скоростями, совмѣстно съ вліяніемъ косины пересѣченія водотока. Въ результатъ сильнаго отклоненія русловыхъ струй, достигнугаго передъ самымъ мостомъ 45° , получился водоворотъ по всей длинѣ сѣверныхъ дамбъ (случай, подобный лѣвой половинѣ чер. 41. Л. XX). Во второмъ случаѣ, въ руслѣ 511 вер. (чер. 112), рѣзкій перебой струй, также до 45° , получился подъ вліяніемъ значительнаго превышенія надъ русловыми скоростями скоростей притеканія южныхъ поемныхъ водъ, сливавшихся къ мосту по отводному руслу изъ ериковъ Сорочьяго и Сѣннаго, въ результатъ чего получился водоворотъ у низовой южной дамбы (случай, подобный правой половинѣ чер. 41). При изученіи прохода водъ въ отверстіи 511 вер. слѣдуетъ принять во вниманіе, что въ данномъ случаѣ оказывало также вліяніе неокончаніе разработки отводнаго русла съ низовой стороны, вслѣдствіе чего сливъ водъ, прошедшихъ отверстіе, былъ затрудненъ сравнительно съ тѣмъ состояніемъ, которое наступило позднѣе по окончаніи разработки отводнаго русла.

Затѣмъ, нѣкоторыя неправильности теченія водъ въ мостовыхъ руслахъ наблюдались въ бѣльшей или меньшей степени почти на всѣхъ водотокахъ. На р. Ахтубѣ (чер. 99) образовался

ВЪДО

угловъ отклоненія русловыхъ струй

№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ВОДОТОКОВЪ.	Среднія скорости въ береговыхъ частяхъ мостовыхъ руселъ выше отверстія саж./сек.		Соотвѣтствен. скорости притеканія поемныхъ водъ возлѣ головъ верховыхъ дамбъ саж./сек.	
		сѣверная часть.	южная часть.	у сѣверной дамбы.	у южной дамбы.
1	Р. Ахтуба.	0.10	0.40	0.40	0.20
2	» Бузанъ	0.15	—	0.30	—
3	Ер. Банный.	0.45	0.40	0.45	0.40
4	» Безымянный	0.20	0.35	0.50	0.35
5	» Проточный	0.80	0.25	0.40	0.35
6	» Узк. Есауль.	0.45	0.25	0.40	0.30
7	Р. Крив. Бузъ	0.20	0.20	0.35	0.15
8	Ер. Болтайка	0.60	0.65	0.50	0.40
9	» Гнилуша	0.80	0.60	0.60	0.50
10	Р. Рыча	0.15	0.10	0.25	0.10
11	Ер. Угланъ	0.10	0	0.30	0.20
12	» Утюпкинъ	0.15	0.25	0.35	0.20
13	Отводъ 3-хъ ериковъ	0.20	0.20	0.30	0.40
14	Р. Болда	0.30	—	0.40	—
					Общая длина .

МОСТЬ 60

отъ нормали къ отверстию.

Радиусъ кривизны головныхъ частей верховыхъ струнаправляющихъ дамбъ съ указаніемъ въ знаменителѣ выноса дамбъ отъ оси пути въ саж.		Уголь отклоненія *) струй въ руслѣ отъ нормали къ мостовому отверстию		Уголь **) отклоненія отъ нормали къ отверстию общаго направленія теченія потока.	Назначенный послѣ наблюденій увеличенный радиусъ закругленія верховыхъ дамбъ въ саж.		ПРИМѢЧАНІЕ.
сѣверной.	южной.	у сѣверной верховой дамбы.	у южной верховой дамбы.		сѣверной.	южной.	
20/25	2,5/67	25°	0°	5°	25	—	*) Уголь отклоненія струй относительно сѣченію мостоваго русла близкому къ началу прямолинейнаго участка дамбъ. **) Во всѣхъ случаяхъ, кромѣ ер. Утюпкина, уголь отклоненія общаго теченія потока отъ нормали къ отверстию наблюдался въ сторону южной дамбы, а на ер. Утюкинѣ въ сторону сѣверной дамбы.
20/25	2,5/177	30°	—	0°	20	—	
5/10	2/22	20°	15°	10°	10	—	
5/10	2/22	45°	10°	10°	20	—	
5/10	2/22	20°	5°	20°	15	10	
5/10	2/22	10°	0°	10°	12	—	
20/15	2/37	25°	0°	10°	15	—	
5/5	2/22	20°	0°	20°	15	—	
5/20	2/22	20°	0°	20°	20	15	
20/15	2/72	5°	0°	5°	15	—	
5/20	2/22	15°	20°	0°	10	15	
7/12	2/32	15°	0°	10°	15	—	
20/14	10/14	15°	45°	0°	15	15	
20/25	—/40	20°	—	0°	—	—	
199	593						
792							

значительный водоворотъ въ руслѣ у сѣверной верховой дамбы (подобно чер. 42), подѣ вліяніемъ притеканія водъ сѣверной поймы; въ этомъ случаѣ распространенію водоворота подѣ мостъ и ниже его воспрепятствовалъ прямолинейный участокъ сѣверной верховой дамбы, длиною около 20 саж. и штабель камня, служившій продолженіемъ дамбы. На р. Бузанѣ (чер. 100) подѣ вліяніемъ превышенія скоростей водъ сѣверной поймы надъ прибрежными скоростями въ руслѣ, отклоненіе русловыхъ струй у сѣверной верховой дамбы достигло 30° , но не сопровождалось водоворотомъ. На ер. Банномъ (чер. 102) отклоненіе русловыхъ струй поемными водами наблюдалось у обѣихъ верховыхъ дамбъ, болѣе сильное у сѣверной дамбы, подѣ вліяніемъ чего у сѣверной низовой дамбы образовался въ руслѣ водоворотъ (случай правой половины чер. 41). На ер. Проточномъ (чер. 104) образовались въ руслѣ два водоворота у обѣихъ верховыхъ дамбъ, подѣ совокупнымъ вліяніемъ значительной косины пересѣченія водотока и притеканія поемныхъ водъ (у обѣихъ дамбъ случай лѣвой половины чер. 42); кромѣ того, здѣсь же образовался еще третій водоворотъ по выходѣ изъ мостоваго русла у головы низовой южной дамбы, подѣ вліяніемъ косины пересѣченія водотока и поворота водъ, вышедшихъ изъ отверстія, въ русло ер. Широкаго Есаула, протекающаго въ сторону Астрахани вдоль линіи съ низовой ея стороны (случай правой половины чер. 44 и 45. Л. XX). На ер. Узк. Есаулѣ (чер. 105) теченіе въ мостовомъ руслѣ сравнительно болѣе правильное. У головы низовой сѣверной дамбы по выходѣ изъ мостоваго русла образовался небольшого развитія и мало дѣятельный водоворотъ подѣ вліяніемъ косины пересѣченія водотока и поворота водъ по выходѣ изъ мостоваго русла въ ер. Широкій Есаулъ, протекающій въ сторону Астрахани вблизи желѣзнодорожнаго полотна (случай лѣвой половины чер. 44 и 45). На р. Крив. Бузѣ (чер. 106), отклоненіе струй въ мостовомъ руслѣ у сѣверной верховой дамбы, подѣ вліяніемъ притеканія поемныхъ водъ и косины пересѣченія водотока, достигло 25° , но водоворотовъ у дамбъ не образовалось. На ер. Болтайкѣ (чер. 107) образовались водовороты у головъ обѣихъ низовыхъ дамбъ, главнымъ образомъ подѣ вліяніемъ поворота водъ по выходѣ изъ мосто-

ваго русла (случай чер. 45); южный водоворотъ получилъ большое развитіе внѣ мостоваго русла, но онъ не опасенъ для дамбы и полотна ввиду незначительныхъ скоростей струй, омывающихъ ихъ откосы. На ер. Гнилушѣ (чер. 108) образовались водовороты у обѣихъ низовыхъ дамбъ, у сѣверной — малодѣятельный, а у южной — опасный водоворотъ съ большими скоростями, подѣ влияніемъ рѣзкаго поворота водъ ниже мостоваго русла въ ер. Боберъ и на южную пойму (случай чер. 45). На р. Рычѣ (чер. 109) перебоя струй и водоворотовъ у струенаправляющихъ дамбъ не образовалось, чему содѣйствовали штабеля камня, служившіе продолженіемъ сѣверной верховой дамбы; на протяженіи этихъ штабелей былъ водоворотъ, который прекращался, не доходя до головы сѣверной дамбы (случай чер. 40 и 42). На ер. Угланѣ (чер. 110) образовался подѣ влияніемъ притеканія водъ южной поймы водоворотъ у южной верховой дамбы, распространившійся до моста (случай чер. 42). На ер. Утюпкинѣ (чер. 111) образовался также подѣ влияніемъ притеканія поемныхъ водъ водоворотъ у сѣверной верховой дамбы (случай чер. 42). Наконецъ, на р. Болдѣ (чер. 101) отклоненіе русловыхъ струй поемными водами у сѣверной верховой дамбы достигло 20° , но не сопровождалось водоворотомъ.

По вѣд. 60, въ сопоставленіи ея съ чер. 99—112, можно сдѣлать то общее заключеніе, что *при построенныхъ струенаправляющихъ дамбахъ поемныя воды не нарушали теченія въ мостовомъ руслѣ, начиная отъ снѣженія близкаго къ началу прямолинейнаго участка дамбъ, въ тѣхъ случаяхъ, когда скорость притеканія поемныхъ водъ была меньше средней скорости въ примыкающей береговой части мостоваго русла; въ тѣхъ же случаяхъ, когда скорость притеканія поемныхъ водъ была равна, или больше средней скорости въ береговой части русла, тогда происходилъ перебой и отклоненіе русловыхъ струй въ тѣхъ болѣе рѣзкой формѣ, чѣмъ болѣе разннца между означенными скоростями.*

Такимъ образомъ, вѣд. 60 и чер. 99—112 подтверждаютъ зависимость радіуса поворота поемныхъ водъ при входѣ въ мостовое русло отъ соотношенія скоростей поемныхъ и русловыхъ водъ въ прибрежной части русла.

Кромѣ того, изъ приведеннаго описанія наблюденныхъ неправильностей теченія водъ въ мостовыхъ руслахъ видно, что *все разнообразныя случаи неправильностей теченія обнимаются четырьмя чертежами 41, 42, 44 и 45 (Л. XX), которые такимъ образомъ слѣдуетъ признать типичными для изученія образованія въ мостовыхъ руслахъ водоворотовъ и косыхъ струй.*

Причины неправильностей теченія въ мостовыхъ руслахъ установлены наблюденіями слѣдующія: прежде всего притеканіе въ русло поемныхъ водъ, затѣмъ косина пересѣченія водотока, или пересѣченіе его передъ поворотомъ, и наконецъ, вліяніе на направленіе струй резервовъ, руселъ и логовъ, лежащихъ въ предѣлахъ воронокъ и бугровъ. Во многихъ случаяхъ, какъ видно изъ изложеннаго, явленіе перебоя русловыхъ струй и образованія водоворотовъ въ мостовомъ руслѣ наблюдалось подъ вліяніемъ первой причины, именно, притеканія поемныхъ водъ, и указало на недостаточность радіуса закругленія построенныхъ верховыхъ дамбъ, такъ такъ поемныя струи поворачивали въ русло по кривой болѣе кривизны, чѣмъ кривизна дамбъ и врѣзались въ русловыя струи. Явленіе этого порядка, какъ уже выяснено, можетъ быть совершенно уничтожено или во всякомъ случаѣ въ значительной степени ослаблено увеличеніемъ радіуса закругленія верховыхъ дамбъ соотвѣтственно съ соотношеніемъ живыхъ силъ притекающихъ поемныхъ водъ и русловыхъ водъ въ прибрежныхъ частяхъ русла.

Обращаетъ на себя вниманіе то обстоятельство, что въ большинствѣ случаевъ болѣе сильный перебой русловыхъ струй производили воды, стекавшія съ сѣверныхъ поймъ; это явленіе объясняется тѣмъ, что, какъ уже извѣстно, участокъ дельты пересѣченъ желѣзнодорожной линіей въ общемъ косо въ отношеніи направленія теченія высокихъ водъ; именно, въ бытовыхъ условіяхъ воды стекали въ общемъ на SO, между тѣмъ какъ линія на дельтѣ имѣетъ общее направленіе близкое къ SSO. Вслѣдствіе косаго пересѣченія потока и вслѣдствіе общаго уклона подпертыхъ линіей водъ на югъ въ сторону Астрахани, водныя воронки передъ отверстіями получились, какъ уже извѣстно, косыя, удлиненныя въ сѣверную сторону. Поэтому расходы и скорости теченія водъ, поступающихъ въ мостовыя

русла на дельтѣ съ сѣверныхъ поймъ въ большинствѣ случаевъ превышаютъ расходы и скорости водъ поступающихъ съ южныхъ поймъ.

Наблюденныя неправильности теченія водъ въ мостовыхъ руслахъ оказывали существенное вліяніе на водопропускную работу отверстій, какъ это наглядно видно изъ чер. 99—112 (Л. LII—LVIII) совмѣстно съ помѣщенными на чер. 77—94 (Л. XXXI—XLVII) кривыми среднихъ скоростей въ сѣченіяхъ мостовыхъ руселъ выше отверстій. Во всѣхъ случаяхъ, гдѣ наблюдались въ мостовыхъ руслахъ перебои струй и водовороты, работа отверстій вслѣдствіе *сжатія струй* была ослаблена; такъ, сѣверный пролетъ моста черезъ р. Ахтубу, черезъ ер. Утюпкинъ и оба крайніе пролеты моста 511 вер. почти не принимали участія въ пропускѣ высокихъ водъ; въ двухъ же сѣверныхъ пролетахъ моста черезъ ер. Безымянный и въ южномъ пролетѣ моста черезъ ер. Угланъ получилось даже обратное теченіе, такъ какъ водовороты распространились подъ самые мосты. *Отсюда понятно, какое существенное вліяніе на водопропускную способность отверстій могутъ оказать рачіонально построенныя струенаправляющія дамбы и рачіональное расположение отверстій.*

Въ этомъ отношеніи представляется глубоко вѣрнымъ высказанное *) Проф. Л. Ф. Николаи заключеніе о болѣе существенномъ во многихъ случаяхъ значеніи струенаправляющихъ дамбъ, чѣмъ увеличеніе размѣровъ отверстія.

Размывающее дѣйствіе водоворотовъ. Относительно размывающаго дѣйствія водоворотовъ наблюденія привели къ слѣдующимъ заключеніямъ: водовороты тѣмъ болѣе дѣятельны и опасны для мостовыхъ руселъ, дамбъ и полотна, чѣмъ больше скорости русловыхъ струй, примыкающихъ къ водовороту; при небольшихъ скоростяхъ въ руслахъ не могутъ образоваться опасные водовороты; площадь охватываемая водоворотомъ сама по себѣ не характеризуетъ силы его дѣйствія; малые по площади водовороты могутъ быть болѣе дѣятельными и опасными, чѣмъ большіе водовороты.

*) „Мосты“ стр. 205.

Измѣненія струена-
правляющихъ дамбъ
на дельтѣ, назначен-
ныя на основаніи
наблюденія водъ.

Въ результатѣ изученія теченія водъ въ мостовыхъ руслахъ на дельтѣ съ разнообразными случаями образованія водоворотовъ и косыхъ струй были назначены въ цѣляхъ урегулированія теченія въ мостовыхъ руслахъ измѣненія формы и размѣровъ построенныхъ струенаправляющихъ дамбъ. Совершеннаго выправленія теченія достигнуть въ данномъ случаѣ одними дамбами невозможно, такъ какъ неправильности теченія въ мостовыхъ руслахъ, происходящія подъ вліяніемъ косины пересѣченія и пересѣченія водотока передъ поворотомъ, какъ достаточно уже выяснено, могутъ быть ослаблены удлиненіемъ прямолинейнаго участка дамбъ, но не могутъ быть уничтожены безъ регуляціонныхъ работъ. Назначенныя измѣненія *) включены въ чер. 32—37 (Л. XVII—XIX), и въ вѣд. 60, откуда видно, что измѣненія выразились главнымъ образомъ въ увеличеніи радіуса закругленій верховыхъ, преимущественно сѣверныхъ дамбъ, и были ограничены тѣмъ соображеніемъ, чтобы, по возможности, использовать существующія сооруженія, подвергая ихъ меньшимъ измѣненіямъ. Поэтому, показанныя на чер. 32—37 дамбы отступаютъ отъ выработаннаго нормальнаго типа (чер. 46. Л. XX), и нѣкоторое дальнѣйшее увеличеніе радіусовъ закругленія ихъ содѣйствовало бы болѣе совершенному урегулированію теченія въ мостовыхъ руслахъ.

Низовыя дамбы, кромѣ ер. Гнилуши, оставлены безъ измѣненія по тому соображенію, что явленія неправильностей теченія въ мостовыхъ руслахъ подъ вліяніемъ косаго пересѣченія водотока или пересѣченія передъ поворотомъ не могутъ быть устранены однимъ удлиненіемъ построенныхъ низовыхъ дамбъ безъ регуляціонныхъ работъ. Такія работы были бы умѣстны ниже тѣхъ мостовыхъ руселъ, гдѣ были наблюдаемы косыя струи или водовороты у низовыхъ дамбъ подъ вліяніемъ косаго направленія теченія водотоковъ по выходѣ изъ мостовыхъ руселъ.

Оставивъ безъ измѣненія форму низовыхъ дамбъ, слѣдуетъ во всякомъ случаѣ озаботиться приведеніемъ въ надежное состояніе укрѣпленія ихъ откосовъ и укрѣпленіемъ прилегаю-

*) Предложенныя въ настоящей статьѣ измѣненія дамбъ въ болѣе-
й части осуществлены.

щихъ къ дамбамъ участковъ мостовыхъ русель на протяженіи низовыхъ водоворотовъ.

На р. Болдѣ измѣненіе сѣверной верховой дамбы не назначено, въ виду предполагаемаго устройства Волжской пристанной вѣтви, которая уничтожить значеніе этой дамбы.

Размывъ на ер. Гнилушѣ. Что касается ер. Гнилуши, то вслѣдствіе неисполненія до высокихъ водъ 1908 г. проектнаго укрѣпленія мостоваго русла во всей южной его половинѣ, произошелъ глубокій размывъ русла (чер. 93—96. Л. XLVI—XLIX), повлекшій за собой подмывъ южной низовой дамбы. Разрушенію этой дамбы способствовало то обстоятельство, что откосъ головной ея части, падавшій въ меженнее русло ерика, тоже оставался неукрѣпленнымъ ко времени прохода высокихъ водъ.

Сѣверныя (Краснокутскія) дамбы на Гнилушѣ, находившіяся подъ охраной укрѣпленной полосы мостоваго русла, подверглись незначительному поврежденію, выразившемуся въ частичномъ осѣданіи камня въ клѣткахъ и въ разстройствѣ нѣкоторыхъ клѣтокъ. При оцѣнкѣ этихъ незначительныхъ поврежденій укрѣпленія слѣдуетъ принять во вниманіе, что самыя дамбы и ихъ укрѣпленія были окончены лишь передъ подъемомъ высокихъ водъ, а потому поврежденія вызывались просадкой дамбъ. Такъ же мало поврежденной осталась Астраханская верховая дамба, хотя, какъ видно изъ сѣченій № VII и № VIII (чер. 94. Л. XLVII), размывъ русла подошелъ къ ней вплотную, и потому, положеніе ея было не надежное. Низовая же Астраханская дамба подверглась разрушенію, начиная съ 3-хъ саженнаго разстоянія ниже оси моста, какъ это видно изъ сѣченій №№ X и XI (чер. 94). Разрушенію этой дамбы, кромѣ вліянія размыва русла, содѣйствовало косое направленіе теченія водъ по выходѣ изъ мостоваго русла.

Данный случай настолько характеренъ въ отношеніи вліянія мѣстныхъ условій на направленіе струй въ мостовомъ руслѣ и вліянія неправильностей теченія на сооруженія, что на немъ слѣдуетъ остановиться болѣе подробно.

Ер. Гнилуша представляетъ собою одинъ изъ малыхъ протоковъ; беретъ начало на поймѣ вблизи р. Рычи въ 2-хъ вер-

стахъ выше желѣзнодорожной линіи (чер. 3. Л. III). Этотъ ерикъ протекаетъ въ сравнительно болѣе глубоко заливаемой части поймы (чер. 5. Л. IV). На протяженіи около 2-хъ верстъ онъ протекаетъ въ неглубокомъ и узкомъ мѣстѣ, безъ рукавовъ; далѣе же онъ отдѣляется съ правой стороны ер. Боберь, а съ лѣвой—ер. Прямой; изъ нихъ ер. Боберь получаетъ на значительномъ протяженіи, около 15 вер., самостоятельное теченіе и былъ въ бытовыхъ условіяхъ болѣе дѣятельнымъ; ерикъ же Прямой, а также ер. Гнилуша, на разстояніи около 3-хъ верстъ отъ истока ер. Бобра, впадаютъ въ р. Крив. Бузь. Желѣзнодорожная линія пересѣкла ер. Гнилушу непосредственно выше истоковъ ериковъ Прямого и Бобра.

Изъ чер. 96 (Л. XLIX) и 108 (Л. LVI) видно, что къ мосту черезъ ер. Гнилушу воды притекаютъ неравномѣрно. Болѣе дѣятельныя струи поступаютъ съ Краснокутской поймы; затѣмъ въ порядкѣ уменьшенія скоростей идутъ струи вдоль меженнаго русла и, наконецъ, наиболѣе слабыя струи поступаютъ съ Астраханской поймы. Послѣднія струи, благодаря своей незначительной скорости, успѣваютъ повернуть въ мостовое русло возлѣ головы Астраханской струенаправляющей дамбы безъ существеннаго перебоя русловыхъ струй. Что же касается водъ, сливающихся съ Краснокутской поймы, то ввиду значительной ихъ скорости онѣ не успѣвали поворачивать, слѣдуя за закругленіемъ Краснокутской верховой дамбы, а врѣзались въ русло и производили перебой русловыхъ струй. Это обстоятельство служило причиной неправильности теченія водъ въ верховой части мостоваго русла и неравномѣрнаго распредѣленія скоростей подъ мостомъ. Кривыя скоростей въ сѣченіяхъ №№ VII и IX (чер. 94) передъ мостомъ, а также въ сѣченіи № III (чер. 93. Л. XLVI) подъ мостомъ показываютъ, что подъ вліяніемъ водъ Краснокутской поймы наибольшія скорости были сосредоточены въ лѣвой половинѣ мостоваго русла между опорами №№ 7—11. По срединѣ русла противъ пролетовъ №№ 5—7, подъ вліяніемъ встрѣчи струй разнаго направленія, теченіе затруднено и скорости наблюдались сравнительно съ сосѣдними участками уменьшенныя. Направленіе струй подъ мостомъ почти нормальное,

такъ какъ оно выправляется опорами моста какъ струенаправляющими дамбами.

Изъ чер. 96 и 108, кромѣ того, видно, что воды, прошедшія черезъ мостъ, разливаются во всѣ три стороны, но главнымъ образомъ онѣ направляются въ бытовые русла, изъ коихъ русло ер. Бобра, какъ болѣе мощное, всасываетъ въ себя большую массу водъ и оказываетъ такимъ образомъ сильное вліяніе на направленіе струй въ мостовомъ руслѣ. А такъ какъ отверстіе моста было расположено въ сторонѣ отъ русла ер. Бобра, которое прилегаетъ сбоку относительно южной низовой струенаправляющей дамбы со стороны Астрахани, то направленіе струй въ мостовомъ руслѣ подъ вліяніемъ всасывающаго дѣйствія ер. Бобра получилось косое въ сторону Астраханской струенаправляющей дамбы; вслѣдствіе чего размывъ русла ниже моста развивался въ сторону этой дамбы (сѣченія №№ X и XI чер. 94), и возлѣ нея образовался дѣятельный водоворотъ (случай чер. 45. Л. XX).

При такихъ условіяхъ Астраханская низовая струенаправляющая дамба подверглась опасности полного разрушенія, каковое неминуемо произошло бы, если бы своевременно при вышемъ подъемѣ водъ не была произведена вдоль откоса дамбы загрузка мѣшковъ съ глинистою землею; причемъ, благодаря глубокому размыву русла на 7-ми саженой длинѣ откоса дамбы было загружено свыше 1200 мѣшковъ.

Описанныя явленія, наблюденныя на ер. Гнилушѣ, подтверждаютъ то заключеніе, что *на направленіе струй въ мостовомъ руслѣ оказываетъ рѣшительное вліяніе главное направленіе теченія водъ по выходѣ ихъ изъ мостоваго русла*. Несомнѣнно, что въ данномъ случаѣ направленіе струй въ мостовомъ руслѣ было бы болѣе нормальное, если бы мостъ былъ сооруженъ ближе въ сторону Астрахани, такъ какъ въ такомъ случаѣ мостъ расположился бы болѣе центрально въ отношеніи всѣхъ трехъ низовыхъ руселъ. Кромѣ того, работа мостоваго русла была бы въ болѣе благопріятныхъ условіяхъ, если бы желѣзнодорожная линія пересѣкла ер. Гнилушу въ нѣкоторомъ удаленіи отъ мѣста развѣтвленія на три русла, хотя бы на 25 саж. западнѣе дѣйствительнаго перехода, такъ какъ тогда ниже моста полу-

чился бы участок русла съ направлѣніемъ теченія нормальнымъ къ отверстію.

Возстановленіе подмытой Астраханской низовой дамбы на прежнемъ мѣстѣ внушало то опасеніе, что круто размывъ (около 1:1) берегъ русла возлѣ этой дамбы легко можетъ сползти и увлечь за собою откосъ дамбы; а потому положеніе этой дамбы оставалось бы ненадежнымъ послѣ ея возстановленія. По этому соображенію безопасность дамбы и желѣзнодорожнаго полотна потребовала отдаленія дамбы отъ размываго русла настолько, чтобы откосъ ея былъ гарантированъ отъ сползанія даже въ случаѣ оползня примыкающаго берега русла. Отнесеніе отъ русла было необходимымъ также и для верховой Астраханской дамбы, такъ какъ выше сѣченія № IX (чер. 94) вдоль всей ея длины размывъ подошелъ до самой ея подошвы. Въ связи съ отнесеніемъ Астраханскихъ дамбъ находилось удлиненіе моста въ сторону Астрахани. Это удлиненіе вполне соотвѣтствовало сдѣланному уже выводу, что вслѣдствіе доминирующаго вліянія русла ер. Бобра на направленіе струй въ мостовомъ руслѣ было бы болѣе рациональнымъ, если бы мостъ былъ сооруженъ ближе въ сторону Астрахани съ тѣмъ, чтобы отверстіе его расположилось болѣе центрально противъ трехъ низовыхъ руселъ, такъ какъ при этомъ теченіе водъ въ мостовомъ руслѣ было бы болѣе нормально къ отверстію, и Астраханская низовая струенаправляющая дамба была бы менѣе подвержена дѣйствію косыхъ струй и водоворота.

Совокупность изложенныхъ причинъ привела къ рѣшенію удлинить *) мостъ черезъ ер. Гнилушу въ сторону Астрахани на 2 трехсаженныхъ пролета, а всего на 6 саж., съ перенесеніемъ на то же разстояніе обѣихъ южныхъ дамбъ. Расположеніе удлиненаго моста черезъ ер. Гнилушу и видоизмѣненныхъ дамбъ показано на чер. 97 и 98 (Л. I и LI). Верховымъ дамбамъ придана развернутая форма примѣнительно къ типовому чер. 46 (Л. XX); радіусъ закругленія Краснокутской дамбы увеличенъ до 20 саж. и Астраханской до 15 саж. Низовая

*) Удлиненіе моста и переустройство дамбъ, согласно настоящей статьи, исполнено.

южная дамба протянута до полотна съ цѣлью предохраненія его отъ дѣйствія водоворота; рѣчной откосъ этой дамбы омываемый водоворотомъ, назначенъ болѣе пологій, именно, 1:2. Для предохраненія подошвъ дамбъ отъ сползанія, вдоль нихъ укрѣплены каменной одеждой полосы дна русла шириною 3 саж.; причемъ, *въ случаѣ оползня размываго берега русла каменная одежда береговыхъ полосъ должна быть немедленно восстановлена.*

Относительно общаго состоянія струенаправляющихъ дамбъ послѣ прохода высокихъ водъ 1908 г. слѣдуетъ сказать, что, кромѣ вышеуказанной низовой дамбы на Гнилушѣ, поврежденія дамбъ подъ вліяніемъ высокихъ водъ въ общемъ оказались незначительными. При мостахъ черезъ ерики Проточный и Узк. Есаулъ произошли небольшія поврежденія откосовъ южныхъ низовыхъ дамбъ. При мостѣ черезъ ер. Болтайку произошелъ подмывъ подошвы обѣихъ сѣверныхъ дамбъ по случайной причинѣ, именно, вслѣдствіе размыва мостоваго русла, укрѣпленіе котораго, назначенное проектомъ, не было окончено. При прочихъ мостахъ откосы дамбъ не повреждены, укрѣпленія же ихъ мѣстами осѣли вслѣдствіе осадки свѣже-насыпаннаго ихъ полотна. Такимъ образомъ, что касается типа укрѣпленія откосовъ дамбъ, ихъ поперечнаго сѣченія и высоты, то наблюденія въ общемъ подтвердили достаточность проектныхъ назначеній.

Въ нормальномъ типѣ струенаправляющихъ дамбъ, изображенномъ на чер. 46 (Л. XX), буквою λ обозначена длина мостоваго русла, на которой во избѣжаніе нарушенія устойчивости сооруженія должно быть *сплошь укрѣплено дно русла* въ тѣхъ случаяхъ, когда по роду грунта въ связи съ конструкціей мостовыхъ опоръ требуется его укрѣпленіе въ соотвѣтствіи съ допущенными скоростями. Этотъ случай укрѣпленія мостоваго русла, представленный на чер. 48 (Л. XXI), имѣетъ мѣсто, когда мостовыя опоры по глубинѣ заложенія не допускаютъ размыва, и притомъ расположены взаимно настолько близко, что между опорами также не можетъ быть допущенъ размывъ

О протяженности и типахъ укрѣпленія струенаправляющихъ дамбъ и мостоваго русла между дамбами.

русла. Длина λ укрѣпленной полосы дна русла назначена на чер. 46 и 48 на протяженіи суженнаго сѣченія; уменьшеніе этой длины возможно въ частныхъ случаяхъ при условіи постоянного наблюденія за состояніемъ русла; но во всякомъ случаѣ, если требуется сплошное укрѣпленіе дна, то оно должно быть сдѣлано подѣ мостомъ; а также выше и ниже моста на разстояніи не меньше прямолинейнаго участка дамбъ. Назначеніе укрѣпленія дна, какъ принципъ, въ низовую сторону на большую длину, чѣмъ въ верховую (такое назначеніе укрѣпленія было сдѣлано въ проектныхъ чертежахъ дельтоваго участка), не имѣетъ основанія, такъ какъ наблюденія показали, что скорости теченія въ мостовомъ руслѣ на протяженіи прямолинейнаго участка дамбъ ниже и выше моста мало между собою различаются.

Кромѣ разсмотрѣннаго случая недопущенія размыва мостового русла бываютъ еще случаи, когда размывъ русла допустимъ; при этомъ могутъ быть два подраздѣленія: размывъ мостовыхъ опоръ можетъ быть также допущенъ на глубину равную глубинѣ размыва русла, или же ограниченъ меньшей глубиной.

Размывъ мостовыхъ опоръ можетъ быть допущенъ въ случаѣ глубокаго ихъ заложения, когда послѣ возможнаго размыва устойчивость опоръ будетъ все же достаточно обезпечена. Въ этомъ случаѣ опоры и русло не нуждаются въ укрѣпленіи, а надежному укрѣпленію подлежатъ лишь береговыя полосы русла вдоль подошвъ струенаправляющихъ дамбъ въ предупрежденіе ихъ поврежденія. Ширина укрѣпленной береговой полосы должна соответствовать скорости теченія, качеству грунта и глубинѣ ожидаемаго размыва русла; но въ большинствѣ случаевъ укрѣпленную полосу не слѣдуетъ назначать менѣе 5 саж. шириною на длину по 10 саж. выше и ниже оси моста, и менѣе 3 саж. на остальномъ протяженіи дамбъ.

Въ случаѣ если размывъ опоръ не допустимъ на полную возможную глубину размыва русла, то кромѣ полосы вдоль дамбъ укрѣпленіе должно быть произведено вокругъ опоръ на ширину, зависящую отъ глубины заложения опоръ и глубины ожидаемаго размыва русла, но не менѣе 5 саж. (чер. 49. Л. XXI).

Что касается *типа укрѣпленій русла и дамбъ*, то въ каждомъ частномъ случаѣ типъ долженъ быть выбранъ по соображенію съ качествомъ грунта и съ ожидаемыми скоростями теченія. Во многихъ случаяхъ умѣстно устройство каменныхъ укрѣпленій въ видѣ мостовыхъ, отсыпей или туюфяковъ. Во всякомъ же случаѣ укрѣпленіе русла, опоръ и струенаправляющихъ дамбъ должно быть назначаемо и своевременно производимо въ такихъ размѣрахъ и настолько основательно, чтобы устойчивость сооруженія не подвергалась риску. Въ этихъ же видахъ требуется постоянный надзоръ за состояніемъ укрѣпленій руселъ и дамбъ и своевременное пополненіе укрѣпленія по мѣрѣ надобности.

Особенно же важно внимательное наблюденіе за состояніемъ струенаправляющихъ дамбъ и руселъ во время прохода высокихъ водъ; *своевременное возстановленіе подавшагося укрѣпленія, выражающееся иногда въ укладкѣ нѣсколькихъ камней, предупреждаетъ серьезныя поврежденія и даже разрушеніе сооружений.*

Умѣстно замѣтить, что камень для *руслowychъ и дамбовыхъ укрѣпленій* обязательно подлежитъ лабораторному испытанію на морозъ подобно облицовочному камню, такъ какъ извѣстны случаи, когда исполненное каменное укрѣпленіе руселъ въ первые же годы въ значительной своей части рассыпалось вслѣдствіе вывѣтриванія. Такія явленія могутъ сопровождаться тяжелыми послѣдствіями. Скорѣйшему вывѣтриванію подвергается камень періодически обнажающійся; въ водѣ же онъ сохраняется лучше. Такого характера поврежденія наблюдались между прочимъ въ верхней части каменныхъ бунъ построенныхъ изъ мѣловаго мергеля для регулированія Средняго Дона.

Изложенное изслѣдованіе теченія водъ въ мостовыхъ руслахъ приводитъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

Заключеніе.

1) Характеръ протеканія водъ въ мостовомъ руслѣ зависитъ отъ размѣровъ отверстія и его гидравлическихъ свойствъ, отъ расположенія отверстія относительно всего потока и пересѣченнаго участка русла, а также отъ размѣровъ, расположенія въ планѣ и гидравлическихъ свойствъ прилегающихъ къ отверстию какъ съ

верховой, такъ и съ низовой стороны (на протяженіи воронки и бугра) участковъ русла и поймъ.

Благодаря водной воронкѣ, образующейся передъ каждымъ отверстіемъ, въ случаѣ присутствія поймъ воды стекаютъ въ отверстіе со всѣхъ сторонъ; при этомъ поймныя воды могутъ вѣзаться въ русловыя и отклонять ихъ, образуя въ мостовомъ руслѣ косыя струи и водовороты. Чѣмъ меньше правильна форма водной воронки и воднаго бугра, тѣмъ рѣзче могутъ проявиться неправильности теченія въ мостовыхъ руслахъ. Неправильности теченія усиливаются въ случаѣ косаго пересѣченія водотока, или въ случаѣ пересѣченія водотока передъ поворотомъ.

Въ общемъ, причины неправильностей протеканія водъ въ мостовыхъ руслахъ слѣдующія: а) притеканіе въ русло поймныхъ водъ, б) косина пересѣченія водотока или пересѣченіе его передъ поворотомъ, и с) особенности въ гидравлическомъ отношеніи района воронки и бугра, въ числѣ которыхъ болѣе сильное вліяніе оказываютъ расположенные въ предѣлахъ воронки и бугра резервы, пересыпанные русла и лога, по которымъ, какъ по путямъ меньшаго сопротивленія, преимущественно устремляются воды.

Явленіе неправильностей теченія въ мостовыхъ руслахъ подъ вліяніемъ всѣхъ причинъ обнимаются четырьмя чертежами: 41, 42, 44 и 45 (Л. XX).

2) Водовороты образуются или въ верхней части мостоваго русла или въ низовой, или же по всей длинѣ мостоваго русла. Низовые водовороты выходятъ изъ предѣловъ мостоваго русла и охватываютъ иногда большія площади.

Водовороты тѣмъ болѣе дѣятельны и опасны, чѣмъ болѣе скорости струй, къ нимъ примыкающихъ. При небольшихъ скоростяхъ въ руслѣ не могутъ образоваться опасные водовороты.

Дѣятельность водоворота не зависитъ отъ его площади; малые водовороты, съ значительными скоростями по периферіи, могутъ быть болѣе опасными, чѣмъ большіе съ меньшими скоростями по периферіи.

3) Неправильности теченія въ мостовомъ руслѣ, именно, косое теченіе и водовороты производятъ сжатіе струи, неравномѣрное распредѣленіе скоростей теченія по живому сѣченію и ослабляютъ

водопронускную способность отверстія, особенно береговыхъ его частей. Въ частныхъ случаяхъ береговая части отверстія совершенно не принимаютъ участія въ пропускъ водъ, и даже работаютъ благодаря водоворотамъ въ обратную сторону, вслѣдствіе чего водопронускная способность отверстія нерѣдко является значительно ослабленной. Поэтому, уничтоженіе неправильностей теченія въ мостовыхъ руслахъ должно составлять предметъ особыхъ заботъ.

4) Неправильности теченія въ мостовыхъ руслахъ въ значительной степени могутъ быть устранены рационально построенными струенаправляющими дамбами, которыя поэтому являются существенной частью мостовыхъ сооружений; они охраняютъ сооруженія и полотно отъ разрушенія, придавая теченію водъ въ отверстіи направленіе нормальное къ нему и параллельноструйное. Благодаря своему дѣйствію, рационально построенныя дамбы вліяютъ на увеличеніе коэффициентовъ сжатія и расхода, иначе говоря, увеличиваютъ водопронускную способность отверстія, уменьшаютъ величину полного подпора и перепада, подъ вліяніемъ которыхъ работаетъ отверстіе, а въ связи съ этимъ также уменьшаютъ распространеніе подпора и величину скоростей въ отверстіи. Во многихъ случаяхъ рационально построенныя струенаправляющія дамбы, несомнѣнно, должны имѣть болѣе существенное значеніе, чѣмъ увеличеніе отверстія.

5) Ввиду своего важнаго значенія струенаправляющія дамбы должны быть устраиваемы въ соответственныхъ случаяхъ при всякаго рода отверстіяхъ, не исключая и трубъ. Въ малыхъ отверстіяхъ неправильности теченія и сжатіе струй вліяютъ болѣе чувствительно въ процентномъ отношеніи на водопронускную способность; а потому, малыя отверстія не только не меньше, но даже болѣе большихъ отверстій нуждаются въ рационально построенныхъ струенаправляющихъ дамбахъ.

6) Въ результатъ устройства рациональныхъ струенаправляющихъ дамбъ при трубѣ должно исчезнуть явленіе перепада въ верхней части трубъ, и не будетъ надобности повышать высоту ихъ устьевъ на 33% на протяженіи отъ 1.5 до 2.5 саж. отъ входнаго конца, какъ это предложено Инженернымъ Совѣтомъ по журналу № 63—1898 г.

Явленіе перенада въ трубахъ не представляетъ собою полного подпора, а лишь мѣстный вторичный подпоръ, образующійся исключительно подъ вліяніемъ сжатія струй при входѣ въ отверстіе.

7) Рациональный типъ струенаправляющихъ дамбъ долженъ удовлетворять слѣдующимъ требованіямъ. Въ присутствіи поймъ верховыя и низовыя дамбы должны имѣть развернутую форму, съ надлежащимъ удаленіемъ головъ отъ отверстія и отъ мостового русла. Головная часть верховыхъ дамбъ должна пройти черезъ положеніе параллельное оси полотна и имѣть далѣе загибъ въ сторону полотна; полное же соединеніе головной части дамбъ съ полотномъ (грушевидная форма) не имѣетъ особыхъ преимуществъ.

Опредѣлителемъ формы и длины дамбъ является радіусъ ихъ закругленія, который для каждой дамбы долженъ быть назначаемъ въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, отъ расположенія отверстія, отъ косины пересѣченія потока и русла, отъ расположенія на поймѣ и размѣровъ резервовъ, руселъ и логовъ, отъ расхода и скорости теченія въ прибрежной части русла, отъ расхода и скорости поемныхъ водъ, притекающихъ возлѣ верховой дамбы къ руслу, и отъ расхода и скорости водъ, сливающихся возлѣ низовой дамбы на соответственную пойму. Объединяя эти факторы, слѣдуетъ заключить, что форма струенаправляющихъ дамбъ зависитъ отъ гидродинамическихъ свойствъ соответственныхъ участковъ живаго сѣченія поймъ и прибрежной части русла, отъ полного подпора, образовавшагося при отверстіи, и отъ положенія отверстія относительно направленія общаго бытоваго теченія потока и пересѣченнаго участка русла.

Въ соответствии съ совокупностью всѣхъ перечисленныхъ факторовъ форма и размѣры каждой изъ 4-хъ дамбъ при отверстіи могутъ быть въ общемъ случаѣ различны.

Проектъ струенаправляющихъ дамбъ долженъ быть составляемъ совмѣстно съ проектомъ резервовъ на поймѣ.

8) Радіусъ закругленія дамбъ, а слѣдовательно и форма и размѣры дамбъ не находятся въ непосредственной зависимости отъ величины отверстія при нормальномъ пересѣченіи водотока; при маломъ отверстіи могутъ понадобиться дамбы большаго радіуса, чѣмъ при большомъ.

При косомъ пересѣченіи водотока требуется увеличеніе радіуса закругленія той верховой дамбы, отъ которой удаляются косыя струи.

Главную часть низовой дамбы, въ сторону которой отклоняется теченіе въ низовомъ участкѣ, полезно удлинитъ наклонно къ полотну, для предохраненія полотна отъ дѣйствія дѣятельнаго водоворота.

9) Прямолинейный участокъ дамбъ при нормальномъ пересѣченіи водотока не имѣетъ значенія и можетъ быть назначаема короткимъ, длиною въ 10 саж., по 5 саж. выше и ниже оси моста. Въ этомъ случаѣ, въ цѣляхъ уменьшенія работы тренія по длинѣ суженнаго мостоваго русла, особенно при малыхъ отверстіяхъ цѣлесообразно еще болѣе сокращать длину прямолинейнаго участка до 5—7 саж.

Въ случаѣ косаго пересѣченія водотока, или пересѣченія передъ поворотомъ длина прямолинейнаго участка дамбъ приобретаетъ значеніе для выправленія струй какъ въ верховой, такъ и въ низовой части мостоваго русла. Чѣмъ болѣе косина пересѣченія и чѣмъ при этомъ болѣе отверстіе, тѣмъ требуется болѣе длинная прямолинейная часть верховыхъ и низовыхъ дамбъ. Чѣмъ болѣе отверстіе и чѣмъ болѣе уголъ съ нормалію къ отверстію составляетъ теченіе водъ въ водотокъ при выходѣ изъ мостоваго русла, тѣмъ требуется болѣе длинная прямолинейная часть низовыхъ дамбъ. Однако-жъ, нужна значительная длина прямолинейнаго участка для того, чтобы въ указанныхъ случаяхъ неправильнаго пересѣченія избѣжать подъ мостомъ косыхъ струй; и тѣмъ не менѣе косина появится въ мостовомъ руслѣ ниже отверстія и вызоветъ водовороты у выходнаго конца мостоваго русла, какъ бы велико ни было удлиненіе прямолинейнаго участка низовыхъ дамбъ.

10) Полная длина дамбъ при нормальномъ пересѣченіи водотока не имѣетъ связи съ величиною отверстія; въ этомъ случаѣ важна только форма дамбъ, а не ихъ длина.

При отсутствіи пойма и при нормальномъ пересѣченіи водотока дамбы независимо отъ величины отверстія не нужны.

Зависимость длины дамбъ отъ отверстія является только при косомъ пересѣченіи водотока или при пересѣченіи передъ поворотомъ, когда требуется удлиненіе прямолинейнаго участка дамбъ, кото-

рый, согласно предыдущему, долженъ быть тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе отверстіе.

Излишняя длина дамбъ какъ верховыхъ, такъ и низовыхъ во всѣхъ случаяхъ неумѣстна.

11) Рационально построенныя дамбы не испытываютъ на себѣ дѣйствія удара струй. Поворотъ поемныхъ водъ въ мостовое русло совершается не струенаправляющими дамбами, а взаимодействіемъ струй водной воронки. Поэтому дамбы не требуютъ сильнаго поперечнаго сѣченія. Во многихъ случаяхъ достаточно ширины по верху въ 1,5 саж.

Откосамъ дамбъ должна быть придана пологость и укрѣпленіе въ соотвѣтствіи со скоростями теченія въ береговыхъ участкахъ мостовыхъ руселъ и съ силой волненія. Чѣмъ болѣе скорость теченія и чѣмъ сильнѣе волненіе, тѣмъ требуется болѣе пологость откосовъ дамбъ. Полевые откосы дамбъ подвержены главнымъ образомъ дѣйствію волненія.

Въ случаѣ косаго пересѣченія водотока или пересѣченія передъ поворотомъ полезно придать низовой дамбѣ, въ сторону которой направлены косыя струи и возлѣ которой образуется водоворотъ, болѣе пологій откосъ.

Пологость откосовъ струенаправляющихъ дамбъ имѣетъ болѣе существенное значеніе, чѣмъ уширеніе ихъ.

12) Рационально построенными струенаправляющими дамбами устраняются неправильности теченія въ мостовомъ руслѣ, происходящія отъ причинъ, кроющихся выше отверстія (притеканіе поемныхъ водъ и косина вышележащаго участка русла); что же касается неправильностей теченія подъ вліяніемъ причинъ, кроющихся ниже отверстія (косое направленіе теченія по выходѣ изъ мостоваго русла), то онѣ устраняются струенаправляющими дамбами въ самомъ отверстіи, но не устранимы у выходнаго конца мостоваго русла. Поэтому, необходимо избѣгать косаго пересѣченія или пересѣченія передъ поворотомъ, особенно при большихъ отверстіяхъ, такъ какъ борьба съ неправильностями теченія происходящими при этомъ въ мостовомъ руслѣ, въ низовой его части, — неопытна для струенаправляющихъ дамбъ.

13) Если косое пересѣченіе водотока или пересѣченіе передъ поворотомъ необходимо, то для устраненія неправильностей теченія въ мостовомъ руслѣ умѣстны регуляціонныя работы какъ выше, такъ особенно ниже отверстія, для того чтобы достигнуть нормальнаго къ отверстию направленія струй въ верховомъ, а главнымъ образомъ въ нижележащемъ участкѣ водотока. Безъ этого послѣдняго условія не можетъ быть правильной работы отверстія.

Направленіе теченія водъ по выходѣ изъ мостоваго русла, главнымъ же образомъ направленіе русла въ нижележащемъ участкѣ, является существеннымъ факторомъ, влияющимъ на водопропускную способность отверстія. А потому, при устройствѣ моста на искусственномъ отводѣ слѣдуетъ стремиться во всякомъ случаѣ къ тому, чтобы участокъ русла ниже отверстія получилъ направленіе нормальное къ отверстию.

14) При необходимости значительной косины пересѣченія и при затруднительности въ то же время примѣнить въ надлежащемъ масштабѣ регуляціонныя работы можетъ оказаться болѣе правильнымъ, отказавшись отъ мысли привести теченіе къ направленію нормальному къ отверстию, построить искусственное сооруженіе косое, съ опорами и струенаправляющими дамбами расположенными косо въ отношеніи отверстія, но по линіи направленія теченія.

15) Въ соответствии со скоростями теченія, качествомъ грунта моста мостоваго русла и конструкціей опоръ можетъ требоваться или сплошное укрѣпленіе мостоваго русла, или частичное его укрѣпленіе вдоль подошвъ струенаправляющихъ дамбъ и вокругъ опоръ.

Въ первомъ случаѣ, который имѣетъ мѣсто при опорахъ недопускающихъ размыва, и притомъ близко поставленныхъ другъ къ другу, для полнаго обезпеченія мостоваго русла отъ размыва укрѣпленіе должно быть сдѣлано на всемъ протяженіи мостоваго русла, считая за таковое длину струенаправляющихъ дамбъ. Въ частныхъ случаяхъ возможно сокращеніе длины полосы укрѣпленія, но во всякомъ случаѣ она должна быть не менѣе длины прямолинейнаго участка дамбъ. При нормальныхъ условіяхъ укрѣпленіе дна мостоваго русла въ верховую сторону отъ оси моста должно распространяться на длину не меньшую, чѣмъ въ низовую сторону.

Частичное укрѣпленіе мостоваго русла возможно при допущеніи размыва русла, когда мостовыя опоры по глубинѣ заложенія также допускаютъ размывъ, или хотя и не допускаютъ размыва, но отстоятъ другъ отъ друга на значительное разстояніе. И въ томъ и въ другомъ случаѣ при допущеніи размыва русла подлежатъ надежному укрѣпленію береговыя полосы вдоль подошвъ струеннаправляющихъ дамбъ; ширина укрѣпленныхъ полосъ должна соответствовать скорости теченія, качеству грунта и глубинѣ ожидаемаго размыва русла. Кроме того, если при размывѣ русла мостовыя опоры не допускаютъ глубокаго размыва, или совсѣмъ не допускаютъ размыва, то должно быть произведено укрѣпленіе дна русла вокругъ опоръ на ширину, зависящую отъ глубины ожидаемаго размыва русла и глубины заложенія опоръ.

Камень для укрѣпленія мостовыхъ руселъ и дамбъ подлежитъ испытанію на морозъ.

ГЛАВА XII.

О разности горизонтовъ по обѣ стороны отверстій въ мостовыхъ руслахъ и о тиховодныхъ перепадахъ.

О вліяніи мостовыхъ опоръ на протеканіе водъ въ отверстіи.

Результаты наблюденій разности горизонтовъ водъ непосредственно выше и ниже отверстій и въ самыхъ отверстіяхъ.

О неправильности обычно примѣняемой формулы подпора.

Какъ одинъ изъ результатовъ наблюденій 1908 г. въ гл. IX выяснено, что дѣйствительный полный подпоръ k , подъ дѣйствіемъ котораго работаетъ отверстіе, образуется не возлѣ самого отверстія, а въ удаленіи отъ него и выражается для одиночнаго отверстія функціей:

$$k = f_s \left(\gamma, v_0, Q, i, \frac{s}{Q} \right) \dots \dots \dots (32).$$

Но при производствѣ наблюденій этотъ результатъ еще не былъ извѣстенъ и наблюденія были организованы въ

соотвѣтствіи съ существующимъ понятіемъ о подпорѣ, представленномъ на чер. 148, 150/246 и 151 (Л. LXX) *), въ силу котораго подпоръ принимается какъ разность горизонтовъ непосредственно передъ отверстіемъ и ниже отверстія и называется дѣйствительнымъ подпоромъ h_d , или какъ разность горизонтовъ передъ отверстіемъ и въ отверстіи и называется кажущимся подпоромъ h_k .

Въ соотвѣтствіи съ существующимъ представленіемъ о подпорѣ при наблюденіяхъ на дельтѣ опредѣлялись въ числѣ прочихъ данныхъ разности горизонтовъ выше и ниже отверстій и въ отверстіяхъ. Для этого были поставлены водомѣрные рейки въ мостовыхъ руслахъ въ 10 саж. выше и ниже отверстій и по оси ихъ. Показанія русловыхъ реекъ приведены въ журналѣ (прил. № 4). Наблюденныя разности горизонтовъ приведены для каждаго дня наблюденій въ сводныхъ вѣдомостяхъ 27—40. Изъ этихъ вѣдомостей сдѣлана выписка 61, изъ которой видно, что наибольшая наблюденная за все время прохода высокихъ водъ разность горизонтовъ выше отверстій и въ отверстіяхъ, на разстояніи 10 саж., для 4-хъ мостовъ съ большими пролетами (Ахтуба, Бузань, Болда и Рыча) составляла отъ 0.01 до 0.015 саж.; наибольшая разность горизонтовъ выше и ниже отверстій, на протяженіи 20 саж., составляла для тѣхъ же мостовъ отъ 0.01 до 0.025 саж. При прочихъ мостахъ наибольшія разности горизонтовъ выше отверстій и въ отверстіяхъ, на протяженіи 10 саж., составляли отъ 0.01 до 0.065 саж., а выше и ниже отверстій, на протяженіи 20 саж., отъ 0.01 до 0.07 саж. При оцѣнкѣ этихъ величинъ не слѣдуетъ упустить изъ виду, что русловыя водомѣрныя рейки были поставлены не возлѣ самыхъ отверстій, а отнесены отъ нихъ на 10 саж.; разности же горизонтовъ непосредственно по обѣ стороны отверстій и въ отверстіяхъ были во многихъ случаяхъ настолько малы, что практически ихъ нельзя было уловить.

Николай Николаевич

*) Чер. 150/246 извлеченъ изъ соч. „Мосты“. Проф. Л. Ф. Николаи. Чер. 151 извлеченъ изъ соч. „Отверстія для пропуска текущихъ водъ въ искусственныхъ сооруженіяхъ“ Н. І. Голиневича.

ВѢДОМОСТЬ 61

наблюденныхъ разностей горизонтовъ водъ въ мостовыхъ руслахъ.

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ВОДОТОКОВЪ.	Наблюденная разность горизонтовъ въ сѣченіяхъ мостовыхъ русель:	
		выше мостовъ и подъ мостами при разстояніи между рейками 10 саж.	выше и ниже мостовъ при разстояніи между рейками 20 саж.
		въ сотыхъ доляхъ сажени.	
1	Р. Ахтуба	0.5—1	0.5—1
2	» Бузанъ	1 —1.5	1 —1.5
3	» Болда.	0.5—1	0.5—1
4	» Рыча	0.5—1.5	1 —2.5
5	Ер. Банный	0.5—2.5	0.5—2.5
6	» Безымянный	0.5—2	1 —2.5
7	» Проточный.	3 —4.5	3 —4.5
8	» Узк. Есаулъ	1.5—2.5	1.5—3
9	Р. Крив. Бузь	1.5—2.5	1 —2.5
10	Ер. Болтайка	3.5—5.5	4.5—6.5
11	» Гнилуша.	5 —6.5	5 —7
12	» Угланъ	0 —1	0 —1
13	» Утюпкинь	0.5—1	0.5—1
14	Отводъ 3-хъ ериковъ	0 —1	0 —1

Сопоставленіе горизонтовъ воды въ отверстіяхъ и ниже отверстій на разстояніи 10 саж. показываетъ, что эти гори-

зонты почти во всѣхъ случаяхъ весьма близки между собою, или совсѣмъ одинаковы, и что мѣстное углубленіе водной поверхности въ отверстіяхъ не проявилось сколько-нибудь замѣтно.

Приведенные результаты обнаруживаютъ, что скачекъ водной поверхности въ предѣлахъ дельтовыхъ отверстій былъ вообще малъ и, какъ видно изъ дальнѣйшаго изслѣдованія, онъ во всѣхъ случаяхъ былъ значительно менѣе дѣйствительнаго полного подпора; что и согласуется съ выясненнымъ понятіемъ о подпорѣ, въ силу котораго обычно принимаемые подпоры h_d и h_k являются по отношенію къ полному дѣйствительному подпору k лишь его частью.

Результаты наблюденій разностей горизонтовъ водъ въ мостовыхъ руслахъ при отверстіяхъ совмѣстно съ наблюденіями прочихъ данныхъ даютъ возможность до нѣкоторой степени освѣтить вопросъ о томъ, насколько пригодна для расчетнаго опредѣленія подпора обычно примѣняемая формула:

$$h = \frac{u^2 - u_1^2}{2g} \dots \dots \dots (1),$$

гдѣ u — средняя скорость въ отверстіи,

u_1 — средняя скорость притеканія.

Формула (1) по существу должна служить для опредѣленія разности горизонтовъ въ двухъ точкахъ линіи тока, въ которыхъ скорости теченія u и u_1 . Скорость u_1 , согласно принятому понятію о подпорѣ, выражаемому чертежемъ 148, именно, въ предположеніи, что подпорная поверхность подходит къ самому отверстию, иногда относятъ къ сѣченію непосредственно передъ отверстіемъ. Такимъ же образомъ рассчитываетъ скорость подхода Кавенъ (Wegebau) въ сѣченіи непосредственно передъ отверстіемъ. При такихъ условіяхъ предполагается, что формула (1), по подстановкѣ въ нее величинъ u и u_1 , должна опредѣлять полное возвышеніе подпорной поверхности надъ горизонтомъ въ отверстіи, т. е. подпоръ, который по чер. 148 обозначенъ буквою h_k . Но въ дѣйствительности, какъ уже извѣстно, подпорная поверхность не подходитъ къ самому отверстию; вслѣдствіе чего подстановка за u_1 скорости непосредственно передъ отверстіемъ по существу не правильна; и притомъ наблюденія

показали, что скорость въ мостовомъ руслѣ непосредственно передъ отверстіемъ уже увеличена противъ бытовой подъ дѣйствіемъ подпора, и, особенно при рѣдко расположенныхъ промежуточныхъ опорахъ, она мало отличается отъ скорости въ отверстіи; а потому если въ формулу (1) подставить дѣйствительныя скорости въ отверстіи и непосредственно передъ отверстіемъ, то въ весьма многихъ случаяхъ формула дастъ для h_k величину совершенно малую, неимѣющую даже отдаленнаго соотношенія съ дѣйствительнымъ полнымъ подпоромъ. Поэтому, для опредѣленія подпора по формулѣ (1) подъ скоростью u_1 во всякомъ случаѣ нельзя разумѣть скорость притеканія водъ въ мостовомъ руслѣ непосредственно передъ отверстіемъ.

Часто принимаютъ за u_1 въ формулѣ (1) величину меньшую противъ дѣйствительной скорости передъ отверстіемъ, именно, среднюю бытовую скорость всего потока, уменьшенную вслѣдствіе увеличенія живаго сѣченія подъ вліяніемъ подпора:

$$u_1 = v_0 \frac{\Omega}{\Omega'} \quad \dots \dots \dots (57),$$

гдѣ v_0 — бытовая средняя скорость потока, Ω — площадь бытового живаго сѣченія потока, а Ω' — та же площадь увеличенная на подпоръ. Такой пріемъ нельзя не признать по существу правильнымъ, такъ какъ скорость подхода должна быть отнесена къ подпертому сѣченію потока внѣ водной воронки. При такихъ условіяхъ можно было бы ожидать, что формула (1) должна дать полный дѣйствительный подпоръ; но и въ этомъ случаѣ она не можетъ удовлетворить своему назначенію по слѣдующимъ причинамъ.

1) Формулой (1) не учитывается бытовая мощность, и вообще, не учитываются всѣ бытовые гидравлическіе элементы русла отверстія. Формулу (1) можно представить въ такомъ видѣ:

$$h = \frac{u^2 - u_1^2}{2g} = \frac{\left(\frac{S}{\mu \omega_n}\right)^2}{2g} - \left(\frac{S}{\Omega'}\right)^2 \quad \dots \dots (59);$$

въ это выраженіе входятъ полный расходъ S и площади живыхъ сѣченій ω_n — мостоваго русла въ отверстіи и Ω' —

всего потока передъ отверстіемъ, но не входятъ бытовые элементы i , v_0 и Q русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ; а между тѣмъ изъ выраженія (32) *) извѣстно, что подпоръ зависитъ также отъ этихъ элементовъ. Благодаря неполнотѣ формулы (1) вычисленные по ней подпоры h получатся одинаковые, будетъ ли поставлено отверстіе на томъ или другомъ руслѣ, если эти русла, входящія въ составъ одного водотока, имѣютъ одинаковыя площади живыхъ сѣченій; а между тѣмъ дѣйствительныя подпоры были бы не одинаковы, и меньшій подпоръ получится при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ въ случаѣ назначенія отверстія на руслѣ съ бѣльшимъ бытовымъ расходомъ, т. е. на руслѣ болѣе мощномъ.

2) Формулой (1) не учитываются мѣстные особенности, вліяющія на величину подпора, каковы: гидравлическія свойства участков поймы въ предѣлахъ водной воронки и бугра, а также мѣстоположеніе отверстія относительно всего потока и располженіе его относительно пересѣченнаго участка русла. Поэтому формула (1) даетъ одинаковыя подпоры для нормальнаго и косаго пересѣченія потока, для нормальнаго, или косаго расположенія отверстія относительно пересѣченнаго участка русла, для случая расположенія отверстія центрально, или сбоку живаго сѣченія потока, для случая поймъ заросшихъ и загражденныхъ, представляющихъ большое сопротивленіе движенію воды, или открытыхъ и имѣющихъ русла и лога, гдѣ движеніе воды встрѣчаетъ сравнительно малыя сопротивленія.

Другими словами, формула (1) считается только съ площадями живыхъ сѣченій и игнорируетъ общія бытовія условія потока и условія его пересѣченія.

3) Формула (1) не учитываетъ подъема воды въ самомъ отверстіи противъ бытоваго горизонта; а между тѣмъ для полученія полнаго подпора этотъ подъемъ долженъ быть прибавленъ къ разности горизонтовъ подпорной поверхности и въ отверстіи.

*) Гл. IX.

4) Формула (1) можетъ быть представлена въ такомъ видѣ:
 $h = \frac{u^2}{2g} - \frac{u_1^2}{2g}$. Выраженія $\frac{u^2}{2g}$ и $\frac{u_1^2}{2g}$ представляютъ собою
 высоты, при которыхъ свободно падающее тѣло развиваетъ
 скорости u и u_1 ; разность этихъ высотъ даетъ ту высоту кото-
 рая нужна для свободно падающаго тѣла для того, чтобы пе-
 рейти отъ скорости движенія u_1 къ скорости u . Къ тому же
 заключенію приходимъ, основываясь на уравненіи Бернулли
 и примѣняя его для частнаго случая, когда жидкость совер-
 шенная (безъ тренія) и когда въ двухъ точкахъ линіи тока
 единичныя давленія (пъезометрическія высоты) одинаковы:

$$z + \frac{p}{\Delta} + \frac{u^2}{2g} + \xi = z_1 + \frac{p_1}{\Delta} + \frac{u_1^2}{2g} + \xi_1$$

при $p = p_1$, $\xi = \xi_1 = 0$,

$$h = z_1 - z = \frac{u^2 - u_1^2}{2g} \dots \dots \dots (1).$$

Такимъ образомъ, формула (1) соответствуетъ случаю
 свободного паденія тѣла при отсутствіи сопротивленія движенію;
 а между тѣмъ движеніе воды вообще и особенно при про-
 ходѣ черезъ отверстія сопровождается сложными сопроти-
 вленіями и не можетъ быть сравниваемо съ паденіемъ сво-
 боднаго тѣла. Понятно, что для развитія опредѣленной
 скорости свободно падающему тѣлу нужна небольшая высота,
 небольшой подпоръ по сравненію съ движущейся водою,
 которая на преодоленіе сопротивленій должна тратить зна-
 чительную часть потенціальной энергіи, значительную часть
 подпора.

По изложеннымъ причинамъ формула (1) не выражаетъ собою
 действительнаго подпора и всегда должна давать величины преумень-
 шенныя противъ полныхъ подпоровъ.

Это заключеніе подтверждается результатами наблюденій на
 дельтѣ, какъ видно изъ вѣдомости 62. Въ этой вѣдомости сдѣ-
 лано сопоставленіе расчетныхъ подпоровъ съ возвышеніями
 водораздѣловъ возлѣ полотна на прилегающихъ участкахъ поймы
 надъ горизонтами водъ въ мостовыхъ руслахъ въ наблюденныхъ
 сѣченіяхъ передъ отверстиями и съ наблюденною разностью
 горизонтовъ по обѣ стороны полотна. Приведенные въ вѣдо-

мости подпоры рассчитаны по формулѣ (1) при допущеніи, что скорости притеканія u_1 равны даже нулю, т. е. по формулѣ:

$$h = \frac{u^2}{2g} \dots \dots \dots (60).$$

Такимъ допущеніемъ расчетные подпоры, особенно на большихъ рѣкахъ, весьма преувеличены; при этомъ за u —приняты наибольшія среднія скорости въ наблюденныхъ сѣченіяхъ мостовыхъ русель. Съ другой стороны, приведенныя въ вѣдомости возвышенія водораздѣловъ надъ горизонтами водъ въ мостовыхъ руслахъ передъ отверстиями, съ поправкою на бытовой поперечный уклонъ, не равны дѣйствительнымъ полнымъ подпорамъ, такъ какъ эти возвышенія опредѣлены относительно наблюдаемаго горизонта водъ въ живыхъ сѣченіяхъ передъ отверстиями безъ прибавки соотвѣтственнаго подъема водъ въ этихъ сѣченіяхъ противъ бытового горизонта; благодаря чему возвышенія водораздѣловъ въ вѣдомости преуменьшены. Нельзя, однако-жъ, не замѣтить, что одни водораздѣльные горизонты у полотна не могутъ дать точнаго понятія о среднемъ возвышеніи всей подпорной линіи. Такимъ образомъ, въ вѣд. 62 расчетные подпоры преувеличены, а дѣйствительные отчасти преуменьшены, и тѣмъ не менѣе во всѣхъ случаяхъ расчетные подпоры оказались ниже дѣйствительныхъ, въ среднемъ на 92%⁰. Еще болѣе рѣзкій результатъ даетъ сравненіе расчетныхъ подпоровъ съ наблюденною разностью горизонтовъ по обѣ стороны полотна; въ этомъ случаѣ, какъ видно изъ вѣдомости 62, расчетные подпоры ниже наблюденныхъ перепадовъ, въ среднемъ болѣе, чѣмъ на 300%⁰.

*подмѣ.
значеніе
высш.*

Вышеприведенныя данныя подтверждаютъ неправильность применения для расчета подпоровъ при отверстияхъ формулы (1); она не выражаетъ дѣйствительной зависимости между скоростями движенія воды и подпорами. Точно также формула (1) не годится для опредѣленія степени затопленія окружающей мѣстности, такъ какъ во всѣхъ случаяхъ она даетъ результаты преуменьшенные по сравненію съ дѣйствительностью. Поэтому, нельзя удивляться, что подтопы прибрежной мѣстности, происходящіе вопреки расчетамъ по форм. (1) послѣ сооруженія переходовъ черезъ водотоки, являются неожиданностью *).

*) Объ опредѣленіи дѣйствительныхъ размѣровъ подтоповъ см. гл. IX.

расчетныхъ подпоровъ при дельтовыхъ отверстіяхъ по формулѣ
полотна надъ горизонтами воды въ сѣче

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ВОДОТОКОВЪ.	Наибольшая изъ наблю- денныхъ средняя скорость въ сѣченіи мостового рус- ла передъ отверстиемъ. см./сек.	Расчетные подпо- ры по формулѣ $h = \frac{u^2}{2g}$	Наблюденная разность горизонтовъ:	
				выше моста и подъ мо- стомъ на раз- стояніи 10 с.	выше и ни- же моста на общей раз- стояніи 20 с.
			ВЪ	С	О Т Ъ И ХЪ
1	Р. Ахтуба.	0.48	2.5	1.0	1.0
2	» Бузанъ.	0.67	4.7	1.5	1.5
3	Ер. Банный.	0.35	1.3	2.5	2.5
4	» Безымянный.	0.44	2.1	2.0	2.5
5	» Проточный.	0.53	3.0	4.5	4.5
6	» Узк. Есауль.	0.49	2.6	2.5	3.0
7	Р. Крив. Бузь.	0.50	2.7	2.0	2.0
8	Ер. Волтайка.	0.66	4.7	5.5	6.5
9	» Гнилуша.	0.66	4.7	6.5	7.0
10	Р. Рыча.	0.39	1.6	1.5	2.5
11	Ер. Угланъ.	0.32	1.1	1.0	1.0
12	» Утюпкинь.	0.35	1.3	1.0	1.0
13	Отводъ 3-хъ ериковъ.	0.35	1.3	1.0	1.0
14	Р. Болда.	0.35	1.3	1.0	1.0
	Въ среднемъ.	—	2.5	2.4	2.6
				$\frac{(4.8 - 2.5) \times 100}{2.5}$	
				$\frac{(10.7 - 2.5) \times 100}{2.5}$	

МОСТЬ 62

$\frac{u^2}{2g}$, и дѣйствительнаго возвышенія водораздѣловъ возлѣ нихъ мостовыхъ русель передъ отверстіями.

Возвышеніе водораздѣл. возлѣ полотна надъ горизонт. воды въ мостов. русл. передъ отвер.				Наблюденныя раз- ности горизонтовъ по обѣ стороны полотна.	П Р И М Ъ Ч А Н І Е.
наблюденное возвышеніе		возвышен. съ поправ- кой на быт. уклонъ.			
со стороны Кр. Кута.	со стороны Астрахани.	со стороны Кр. Кута.	со стороны Астрахани.		
д о л я х ъ с а ж е н и я.					
4.5	4.0	3	4	6.5	<p>Возвышеніе водораздѣловъ взято для наивысшаго наблюдаемаго горизонта воды по даннымъ чер. 73 (Л. XXVIII). Также для высшаго горизонта взяты разности горизонтовъ воды.</p> <p>Среднія скорости въ сѣченіяхъ мостовыхъ русель взяты наибольшія за все время наблюденій.</p>
7.5	—	5	—	10	
4.0	3.5	2	4	6.5	
5.5	3.5	3	4	7	
8.5	6.0	6	6	9	
12.0	6.0	9	6	10.5	
8.5	4.0	5	4	10.5	
7.5	6.0	5	6	11.5	
10.0	7.5	5	8	13	
14.0	4.0	8	4	15.5	
15.0	7.0	6	7	18.5	
8.5	4.5	5	5	11.5	
12.5	7.5	7	9	12.0	
3.0	—	2	—	8.5	
6.3		4.8		10.7	



= 92%.

= 328%.

Умѣстно замѣтить, что Kaven примѣняетъ формулу (1) независимо для отдѣльныхъ частей живаго сѣченія въ отверстіи и, получивъ для нихъ различныя величины h , онъ приходитъ къ тому заключенію *), что водная поверхность выше моста должна представлять *въ поперечномъ направленіи выпуклое очертаніе*. Это заключеніе находится въ совершенномъ противорѣчій съ дѣйствительностью, такъ какъ передъ отверстіемъ, какъ уже извѣстно, образуется вогнутая воронка; но оно представляетъ интересъ въ томъ отношеніи, что показываетъ, насколько мало еще выяснено явленіе прохода водъ черезъ отверстія, если возможно такое заключеніе, и если является мысль опредѣлять самостоятельныя подпоры для отдѣльныхъ частей одного общаго отверстія.

Болѣе точное по сравненію съ формулою (1) выраженіе подпора даетъ Dupuit:

$$h_k = \frac{u^2 - u_1^2}{2g} + \zeta \dots \dots \dots (61),$$

гдѣ ζ должно выражать сопротивленіе движенію воды на протяженіи λ' показанномъ на чер. 149/249' (Л. LXX):

$$\zeta = i\lambda' \left(\frac{\Omega^2}{\omega_n \Omega'} - 1 \right) \dots \dots \dots (62).$$

Въ выраженіи (62):

i — бытовой уклонъ,

Ω , ω_n , Ω' — площади живыхъ сѣченій непосредственно ниже отверстія, въ отверстіи и непосредственно выше отверстія.

Такимъ образомъ, по Дюпюи подпоръ h_k , при опредѣленныхъ скоростяхъ u и u_1 , получается нѣсколько бѣльшій, чѣмъ по обычно примѣняемой сокращенной формулѣ (1). Однако-жъ и формула Дюпюи не можетъ дать точнаго результата, такъ какъ, во первыхъ, въ нее не входятъ всѣ выясненные въ гл. IX факторы, вліяющіе на образованіе подпора, а во вторыхъ, протяженіе λ' принимается **) лишь въ 14 фут.; а эта величина

*) „Мосты“ Проф. Л. Ф. Николаи, стр. 180, изд. 1901 г.

**) Проф. Л. Ф. Николаи даетъ указаніе (стр. 175 „Мосты“ 1901 г.), что для мостовъ $\lambda = \lambda' = 14'$.

ничтожна по сравненію съ тѣмъ полнымъ протяженіемъ воронки и бугра, на которомъ движеніе воды преодолеваетъ добавочныя сопротивленія вслѣдствіе загражденія потока переходомъ.

Для такъ называемаго „дѣйствительнаго подпора“ h_d Dupuit даетъ выраженіе:

$$h_d = \frac{v_0^2 - u_1^2}{2g} + i \left\{ \lambda \left(\frac{\Omega}{\omega_n} - 1 \right) + \lambda' \left(\frac{\Omega^2}{\omega_n \Omega'} - 1 \right) \right\} . . (63).$$

На основаніи сопоставленія формулъ Дюпюи (61) и (63) съ обычно примѣняемой формулой подпора (1) создалось мнѣніе *), что подпоръ опредѣленный по этой послѣдней формулѣ, $h = \frac{u^2 - u_1^2}{2g}$, менѣе кажущагося подпора, но больше истиннаго. Это мнѣніе не основательно, такъ какъ вышеприведенное изслѣдованіе указываетъ, что формула (1) во всѣхъ случаяхъ даетъ подпоръ уменьшенный по сравненію съ дѣйствительнымъ подпоромъ.

Для опредѣленія подпора существуютъ еще формулы Heinemann'a и Molesworth'a; но и эти формулы, подобно формуламъ Дюпюи, также не учитываютъ всѣхъ факторовъ, вліяющихъ на образованіе подпора и входящихъ въ функцію (32).

По Heinemann'у подпоръ:

$$h = \frac{\omega_n + B h}{2 \omega_n + B} (0.175 u^2 - 0.102 u_1^2).$$

По Molesworth'у:

$$h = \left(\frac{u_1^2}{58.6} + 0.05 \right) \left[\left(\frac{\Omega}{\omega_n} \right)^2 - 1 \right] \text{ въ фугт.}$$

Въ этихъ формулахъ обозначенія сохранены прежнія.

ω_n , Ω — площади живаго сѣченія въ отверстіи и всего потока въ бытовыхъ условіяхъ,

B — ширина потока выше отверстія,

u , u_1 — средняя скорость въ отверстіи и скорость притекающей воды.

Въ точное выраженіе подпора должны войти всѣ элементы функціи (32), и лишь тогда оно будетъ опредѣлять полную высоту,

*) „Мосты“ Проф. Л. Ф. Николаи, стр. 175.

соответствующую сумму добавочнымъ сопротивленіямъ движенія воды при проходѣ черезъ отверстіе при данныхъ мѣстныхъ условіяхъ.

Вліяніе мостовыхъ опоръ на форму водной поверхности въ мостовомъ руслѣ и на протеканіе водъ въ отверстіи.

Наблюденія горизонтовъ водъ въ мостовыхъ руслахъ обнаружили еще, что на очертаніе водной поверхности и на разность горизонтовъ непосредственно вблизи отверстія и въ отверстіи оказываютъ существенное вліяніе мостовыя опоры. *Передъ каждой опорой образуется мѣстный подгемъ воды, водный бугоръ, вслѣдствіе потери живой силы тѣми струями, которыя набѣгаютъ на опоры. Водный бугоръ передъ опорой является какъ бы вершиною волны, вслѣдъ за которой образуется по длинѣ опоры рядъ полныхъ волнъ, распространяющихся по ширинѣ русла.* Это явленіе мѣстнаго воднаго бугра съ сопровождающими его волнами наблюдалось возлѣ всѣхъ мостовыхъ опоръ и изображено на чер. 131 (Л. LXI), а детально на чер. 133 и 134 (Л. LXII). На послѣднихъ двухъ чертежахъ изображена водная поверхность точно снятая по стѣнкамъ быковъ Болдинскаго и Бузанскаго мостовъ при проходѣ высокихъ водъ въ безвѣтренное время, когда на водотокахъ выше и ниже отверстій и между опорами совершенно не было волненія.

Вліяніе опоръ выражается не только въ образованіи волнъ, но также и въ *нарушеніи параллельноструйности теченія и въ сжатіи русловыхъ струй.*

Наблюденное явленіе образованія волнъ подѣ дѣйствіемъ мостовыхъ опоръ согласуется съ тѣмъ заключеніемъ Буссинека *), что въ мѣстахъ, гдѣ однообразное теченіе разстраивается или устанавливается, поверхность его имѣетъ видъ волнообразный, если теченіе рѣчное, не стремительное.

Чѣмъ гуще расположены мостовыя опоры и чѣмъ больше скорость притеканія водъ въ мостовыхъ руслахъ, тѣмъ искажающее вліяніе опоръ сильнѣе.

*) Проф. Д. Бобылевъ. Очеркъ теоріи водяныхъ теченій выработанной Буссинекомъ, стр. 99.

На дельтовомъ участкѣ къ категоріи мостовъ съ рѣдко расположенными опорами, относятся только мосты съ металлическими строеніями черезъ р.р. Ахтубу, Бузань, Рычу и Болду, въ которыхъ пролеты были minimum 10 саж.; при этихъ мостахъ волны, образовавшіяся возлѣ опоръ, распространялись лишь на часть длины пролетовъ; при всѣхъ же прочихъ мостахъ съ деревянными, близко другъ отъ друга отстоящими опорами, водная поверхность непосредственно вблизи отверстій и въ отверстіяхъ была искажена вліяніемъ опоръ по всей ширинѣ русла.

Сильное сжатіе струй, которое производятъ густо расположенныя мостовыя опоры указываетъ, между прочимъ, на неумѣстность разбивки отверстій при значительныхъ скоростяхъ теченія на малые пролеты, меньше 10 саж., и на то, что коэффициентъ расхода μ зависитъ не только отъ формы быковъ, какъ это установлено наблюденіями Навье и Эйтельвейна, но также въ значительной степени отъ размеровъ пролетовъ: при малыхъ пролетахъ, до 10 саж., значеніе μ должно быть меньше, чѣмъ при большихъ пролетахъ.

Это заключеніе о вліяніи на величину коэффициента μ размеровъ пролетовъ согласуется съ результатами изслѣдованія Croizette-Desnoyers, по которымъ коэффициентъ μ измѣняется отъ 0.79—0.89 при пролетѣ въ 10 метр., до 0.99 при пролетѣ въ 100 метр. *). Точно также это заключеніе согласуется съ формулой Зонне **), по которой:

$$\mu = \frac{vL - An}{vL},$$

гдѣ n — число пролетовъ,

L — чистое отверстие,

A — численный коэффициентъ,

v — средняя скорость передъ мостомъ.

*) Таблица измѣненія коэффициента μ для разнаго очертанія опоръ и разныхъ пролетовъ приведена на стр. 91, ч. I, соч. „Мосты“ Проф. Г. П. Передерія.

**) Н. И. Голиневичъ. Отверстія для пропуска текучихъ водъ.

О затруднительности и малой пользы наблюдений разности горизонтовъ въ мостовыхъ руслахъ вблизи отверстій и въ самыхъ отверстияхъ.

Вслѣдствіе постоянныхъ волнъ при мостовыхъ опорахъ наблюденіе разности горизонтовъ водъ по обѣ стороны отверстій и въ отверстияхъ непосредственно возлѣ опоръ не можетъ дать надежныхъ результатовъ. Производство же наблюдений водной поверхности въ пролетахъ между опорами сопряжено съ осложненіями, вслѣдствіе трудности установки водомѣрныхъ реекъ, особенно въ случаѣ большой глубины русла. Кромѣ того, освободиться при разсматриваемыхъ наблюденіяхъ отъ вліянія опоръ возможно только въ случаѣ значительнаго взаимнаго ихъ удаленія; при близко же расположенныхъ опорахъ водная поверхность искажается, какъ уже извѣстно, по всей длинѣ пролетовъ.

Къ трудности избѣжать при наблюденіяхъ горизонтовъ водъ въ отверстияхъ искажающаго вліянія опоръ, слѣдуетъ присоединить, что наблюденія горизонтовъ въ мостовыхъ руслахъ нерѣдко затруднены еще значительными скоростями теченія, перебоями струй и водоворотами; а потому выясняется, что *полученіе вѣрной и свободной отъ привходящихъ вліяній разности горизонтовъ въ мостовыхъ руслахъ вблизи отверстій и въ самыхъ отверстияхъ вообще сопряжено съ трудностями, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ совершенно не достижимо.*

Это заключеніе, въ связи съ сдѣланнымъ выше выводомъ о невѣрности представленія подпора по чертежу 148 (Л. LXX), приводитъ къ тому выводу, что *наблюденіе разности горизонтовъ въ предѣлахъ мостоваго русла вблизи отверстія и въ самомъ отверстіи является затруднительнымъ и малозначущимъ, оно не можетъ дать результатовъ, опредѣляющихъ размѣры полного подпора, или характеризующихъ водопропускную работу отверстій.*

ТИХОВОДНЫЕ ПЕРЕПАДЫ.

Удобство наблюдений тиховодныхъ перепадовъ, и ихъ значеніе для опредѣленія водопропускной работы отверстій.

Вслѣдствіе выяснившейся въ началѣ наблюдений надельтъ трудности, малой надежности и непродуктивности опредѣленія разности горизонтовъ при отверстияхъ въ мостовыхъ руслахъ, было признано необходимымъ одновременно съ наблюденіями горизонтовъ въ мостовыхъ руслахъ производить наблюденія горизонтовъ водъ за дамбами возлѣ отверстій съ верховой и съ низовой стороны. Съ этою цѣлью

были поставлены водомѣрные рейки за дамбами, въ тиховоды, гдѣ отсчеты по нимъ производились совершенно точно безъ затрудненій.

Разница горизонтовъ водъ между тиховодными рейками, называемая далѣе тиховоднымъ перепадомъ h_t , составляетъ болѣе значительную часть полного перепада по сравненію съ разностью горизонтовъ въ сѣченіяхъ мостоваго русла непосредственно выше отверстія и въ самомъ отверстіи, а также по сравненію съ разностью горизонтовъ непосредственно выше и ниже отверстія; а потому, во всѣхъ случаяхъ величина тиховодныхъ перепадовъ получалась значительной, и она можетъ дать сравнительно болѣе ясное понятіе о размѣрахъ полныхъ перепадовъ, подвѣяніемъ которыхъ работали мостовыя отверстія.

Еще ближе къ размѣрамъ полныхъ перепадовъ стоятъ наибольшія разности горизонтовъ водъ по обѣ стороны полотна между отверстіями; сопоставленіе наблюденныхъ разностей горизонтовъ съ тиховодными перепадами сдѣлано въ вѣд. 63. Но принимая во вниманіе, что, какъ выяснено въ гл. IX, разности горизонтовъ водъ на участкѣ поймы между отверстіями на дельтѣ во многихъ случаяхъ были искажены вліяніемъ мѣстныхъ особенностей, гривокъ и сооруженныхъ вѣтвей, тиховодные же перепады, легко и точно наблюдаемые, могутъ въ сопоставленіи съ бытовыми гидравлическими элементами водотока служить достаточно надежной характеристикой водопропускной работы отверстій, представляется полезнымъ ихъ изученіе.

Наблюденные тиховодные перепады приведены въ вѣдомостяхъ 27—40. Изъ этихъ вѣдомостей прежде всего усматривается, что при каждомъ отверстіи тиховодные перепады *смыкаются* за водопропускной работой отверстія: съ усиленіемъ работы даннаго отверстія растутъ его тиховодные перепады, и обратно, съ уменьшеніемъ работы отверстія тиховодные перепады убываютъ. Эта связь указываетъ на существованіе зависимости между тиховодными перепадами и приращеніемъ скорости *и* въ отверстіи по сравненію съ бытовой скоростью v_0 въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ. Но не правильно было бы пытаться связать h_t съ алгебраическимъ приращеніемъ скорости ($u - v_0$), а подобно тому какъ въ формулѣ Д. Бернулли разность уровней воды выра-

жается въ функціи отъ разности квадратовъ скоростей, такъ и тиховодный перепадъ h_T долженъ быть выраженъ въ зависимости отъ квадратичной разности скоростей ($u^2 - v_0^2$), или отъ геометрическаго приращенія скорости (чер. 159. Л. LXXII):

$$w = \sqrt{u^2 - v_0^2} \dots \dots \dots (64),$$

гдѣ u — средняя скорость въ мостовомъ руслѣ въ данный моментъ,

v_0 — соотвѣтственная бытовая средняя скорость въ тѣхъ же предѣлахъ.

Такимъ образомъ, устанавливается функція:

$$h_T = f_9(w) \dots \dots \dots (65),$$

которая можетъ быть легко обращена для каждаго даннаго случая въ явную зависимость, такъ какъ входящіе въ нее элементы частью наблюдаются при проходѣ водъ черезъ отверстія послѣ сооруженія линіи (h_T, u), частью выясняются на основаніи бытовыхъ наблюденій (v_0).

Какъ видно изъ дальнѣйшаго, для дельты функція (65) приняла слѣдующій видъ, общій для всѣхъ дельтовыхъ отверстій:

$$w = 0.1022 \sqrt{h_T} + 0.02103 h_T \dots \dots \dots (66),$$

гдѣ w — выражено въ $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$

h — въ сотыхъ доляхъ сажени.

Это выраженіе (66) примѣнимо для всѣхъ дельтовыхъ отверстій въ предѣлахъ, не далеко отходящихъ отъ наблюденій, и даетъ возможность въ любой моментъ быстро опредѣлять водопропускную работу отверстій по тиховоднымъ перепадамъ, наблюденіе которыхъ не сопряжено съ затрудненіемъ.

Если принять во вниманіе, что размѣръ тиховоднаго перепада обусловливается величиною добавочнаго уклона j , то функція (65) приводитъ къ тому заключенію, что въ непосредственной связи съ приращеніемъ скорости въ отверстіи находится приращеніе уклона въ предѣлахъ воронки и бугра противъ бытового его размѣра. Существованіе такого соотношенія было учтено въ гл. IX при выясненіи зависимости, существующей между под-

поромъ, добавочнымъ уклономъ и гидравлическими элементами русла отверстія и всего потока.

Кромѣ функціи (65) тиховодный перепадъ h_t можетъ быть выраженъ въ функціи болѣе общаго вида. Дѣйствительно, если принять во вниманіе, что интенсивность водопропускной работы даннаго отверстія характеризуется отношеніемъ расходовъ $\frac{S}{Q}$, то тиховодные перепады, слѣдящіе за водопропускной работой отверстій, должны измѣняться въ прямой зависимости отъ измѣненія отношенія $\frac{S}{Q}$. Но, подобно тому, какъ при изслѣдованіи подпора k было выяснено, что величина k зависитъ не только отъ отношенія $\frac{S}{Q}$, а также и отъ бытовыхъ гидродинамическихъ элементовъ русла перекрытаго отверстіемъ и отъ особенностей мѣстныхъ условій, такъ же и тиховодный перепадъ h_t , слѣдящій въ своихъ измѣненіяхъ за подпоромъ k , находится въ зависимости, кромѣ отношенія $\frac{S}{Q}$, отъ бытовыхъ гидродинамическихъ элементовъ и отъ особенностей мѣстныхъ условій. Такимъ образомъ, тиховодный перепадъ h_t можно выразить въ слѣдующей функціи одного вида съ функціей (32):

$$h_t = f_{10} \left(\gamma, v_0, Q, i, \frac{S}{Q} \right) \dots \dots \dots (67).$$

Здѣсь:

γ — коэффициентъ мѣстныхъ особенностей, и въ томъ числѣ расположенія отверстія; предѣлы значеній коэффициента γ опредѣляются путемъ изученія работы большаго числа существующихъ сооружений;

v_0, Q, i — бытовые элементы русла въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ;

S — полный расходъ, пропускаемый отверстіемъ.

Къ тому же заключенію приводитъ то соображеніе, что, какъ тиховодный перепадъ есть часть полнаго перепада, то онъ долженъ находиться въ зависимости отъ тѣхъ же элементовъ, отъ которыхъ зависитъ и полный перепадъ; этотъ же послѣдній въ силу формулы (34) зависитъ отъ k, i и j ; а элементы k и j находятся въ зависимости отъ бытовыхъ гидродинамическихъ элементовъ и отъ отношенія $\frac{S}{Q}$.

Изученіе наблюденных тиховодных перепадовъ. Наибольшіе изъ наблюденныхъ при отверстіяхъ на дельтѣ тиховодные перепады выписаны въ вѣд. 63, изъ которой усматривается, что первое мѣсто по тиховоднымъ перепадамъ среди дельтовыхъ отверстій занимаетъ мостъ черезъ ер. Гнилушу, гдѣ $\max. h_t = 0.125$ саж., и послѣднее мѣсто занимаетъ мостъ черезъ р. Болду, гдѣ $\max. h_t = 0.025$ саж.

Въ вѣдомости 63 отверстія расположены въ послѣдовательномъ порядкѣ наблюденныхъ наибольшихъ перепадовъ; при этомъ усматривается, что всѣ рѣки: Крив. Бузъ, Рыча, Бузанъ, Ахтуба и Болда расположены въ концѣ вѣдомости, такъ какъ при нихъ наблюдались сравнительно съ малыми водотоками меньшіе тиховодные перепады. Этотъ результатъ наблюденій подтверждаетъ заключеніе, сдѣланное въ гл. IX, именно, что *въ случаѣ групповыхъ отверстій подпоры k_n и добавочные уклоны j_n , за которыми несомненно слѣдуютъ тиховодные перепады, устанавливаются въ обратномъ соотношеніи съ бытовой мощностью руселъ отверстій.*

Поэтому, *отдѣльно взятые тиховодные перепады не могутъ дать вѣрнаго понятія объ интенсивности водопропускной работы отверстій, а лишь въ сопоставленіи съ бытовой мощностью руселъ отверстій, что согласуется съ функціями (65) и (67) и съ выраженіемъ (64), а также подтверждается слѣдующимъ сопоставленіемъ наблюденныхъ величинъ.* Въ дельтовыхъ отверстіяхъ на рѣкахъ были наблюдаемы сравнительно значительныя скорости; напримѣръ, на р. Бузанѣ при перепадѣ между тиховодьями 0.035 саж. средняя скорость въ сѣченіи передъ мостомъ составляла $0.67 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, больше чѣмъ на ер. Гнилушѣ, гдѣ перепадъ между тиховодьями былъ 0.125 саж.; на р. Крив. Бузѣ наблюдалась средняя скорость въ живомъ сѣченіи непосредственно передъ мостомъ $0.50 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ почти такая же, какъ и на ер. Проточномъ, гдѣ средняя скорость наблюдалась $0.53 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, а между тѣмъ тиховодные перепады на р. Крив. Бузѣ (0.045—0.06 саж.) почти вдвое менѣе, чѣмъ на ер. Проточномъ (0.075—0.10 с.). Если же сравнить между собою водотоки, мало отличающіеся по бытовой мощности руселъ, какова группа водотоковъ между рѣками Бузаномъ и Рычей, находившихся послѣ сооруженія

ВѢДОМОСТЬ 63

наибольшихъ наблюденныхъ перепадовъ между тиховодьями за дамбами.

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ВОДОТОКОВЪ.	Наибольшіе изъ наблюденныхъ перепады h_t между тиховодьями:		Наибольшія разности гор. водъ по обѣ стороны плотна между смежными отверстиями:		ПРИМѢЧАНІЕ.
		съ сѣверной, Краснокутск. стороны.	съ южной, Астраханской стороны.	съ сѣверной, Краснокутск. стороны.	съ южной, Астраханской стороны.	
		въ сотыхъ доляхъ саж.	въ сотыхъ доляхъ саж.	въ сотыхъ доляхъ саж.	въ сотыхъ доляхъ саж.	
1	ер. Гнилуша . .	9	12.5	13.0	15.5	Ерики второго бассейна.
2	» Болтайка . .	9	11.5	11.5	13.0	
3	» Проточный .	7.5	10	9.0	10.5	
4	» Узк. Есаулъ.	5.5	8.5	10.5	10.5	
5	» Безымянный.	4.5	7	7.0	9.0	
6	» Банный . . .	4.5	6	6.5	7.0	
7	» Утюпкинь . .	5	5.5	11.5	12.0	Ерики третьего бассейна.
8	» Угланъ . . .	4.5	5.5	18.5	11.5	
9	р. Крив. Бузъ . .	4.5	6	10.5	11.5	Малыя рѣки.
10	» Рыча	4	—	15.5	—	
11	» Бузанъ	3.5	—	10.0	—	Большія рѣки, за исключеніемъ Отвода 3-хъ ериковъ.
12	» Ахтуба	2.5	3.5	6.5	10.0	
13	Отводъ 3-хъ ерик.	2.5	3.5	12.0	8.5	
14	р. Болда	2.5	—	3.5	—	

линіи въ одномъ бассейнѣ, то, какъ видно изъ вѣд. 64, они располагаются въ одинаковой послѣдовательности какъ по тиховоднымъ перепадамъ, такъ и по среднимъ скоростямъ въ мостовомъ руслѣ.

ВѢДОМОСТЬ 64

сравненія отверстій одного бассейна по тиховоднымъ перепадамъ и среднимъ скоростямъ на водотокахъ съ мало отличающейся бытовой мощностью русель.

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ВОДОТOKOВЪ.	Наибольшія наблюденныя величины тиховодныхъ перепадовъ въ саж.		Наибольшія изъ наблюд. среднихъ скоростей въ мостовыхъ руслахъ въ саж. сек.
		съ сѣверной стороны.	съ южной стороны.	
1	ер. Гнилуша	0.09	0.125	0.66
2	» Болтайка	0.09	0.115	0.66
3	» Проточный	0.075	0.10	0.53
4	» Узк. Есаулъ	0.055	0.085	0.49
5	» Безымянный	0.045	0.07	0.44
6	» Банный	0.045	0.06	0.35

Эта вѣдомость показываетъ, что для водотоковъ, бытовая мощность которыхъ мало между собою отличается, тиховодные перепады сами по себѣ, вне связи съ другими элементами, являются сравнительной характеристикой водопропускной работы отверстій.

Связь тиховодныхъ перепадовъ съ мощностью русель выражается еще въ томъ, что при водотокахъ слабой мощности величины тиховодныхъ перепадовъ измѣняются при перемѣнѣ горизонтовъ воды въ болѣе широкихъ предѣлахъ; чѣмъ мощнѣе русло, тѣмъ тиховодные перепады устойчивѣе, подвержены меньшимъ измѣ-

неніямъ съ перемѣною горизонтовъ воды. Это заключеніе вытекаетъ изъ сводной вѣд. 42, откуда видно, что за первый періодъ спада водъ съ 27 мая по 7 іюня тиховодные перепады при мостахъ черезъ р.р. Ахтубу, Бузанъ, Болду, Крив. Бузь и Рычу уменьшились въ среднемъ на 33⁰/₀, въ то время какъ тиховодные перепады при мостахъ на ерикахъ уменьшились въ среднемъ на 46⁰/₀.

Въ наблюдаемыхъ дельтовыхъ отверстіяхъ къ вліянію мощности руселъ на величины добавочныхъ уклоновъ, частныхъ подпоровъ и перепадовъ еще присоединяется вліяніе косаго пересѣченія потока и дѣленія его на отдѣльные бассейны. *Подъ вліяніемъ косаго пересѣченія потока частные подпоры, а съ ними добавочные уклоны и тиховодные перепады постепенно нарастали при отверстіяхъ расположенныхъ къ югу, т. е. далѣе по направленію общаго теченія потока, что также подтверждается вѣдомостью 63, гдѣ ерики одного бассейна отъ Баннаго до Гнилуши расположились по тиховоднымъ перепадамъ въ порядкѣ обратномъ ихъ географическому положенію съ сѣвера на югъ, и только ер. Узк. Есаулъ, подѣ вліяніемъ бѣльшей бытовой мощности русла, расположился въ вѣдомости ниже сосѣдняго ер. Протчнаго.*

Вліяніемъ косаго пересѣченія потока на дельтѣ объясняется также то явленіе, что южные тиховодные перепады при всѣхъ отверстіяхъ получились болѣе значительными, чѣмъ сѣверные, какъ это видно изъ вѣдомостей 27—40 и 63. Косое пересѣченіе потока имѣло послѣдствіемъ приближеніе водораздѣльныхъ линій между сосѣдними воронками въ сторону противоположную общему теченію потока, т. е. ближе къ сѣвернымъ мостамъ, какъ это уже выяснено въ гл. IX; послѣдствіемъ чего получились удлиненныя сѣверныя щеки воронокъ, съ болѣе плавными поверхностными уклонами, и укороченныя южныя щеки, съ болѣе рѣзкими поверхностными уклонами. Это явленіе, наглядно усматриваемое изъ чер. 73 (Л. XXVIII), служило причиной нѣкотораго сравнительнаго повышенія южныхъ верховыхъ тиховодій. Въ то же время косое пересѣченіе потока отразилось и на характерѣ слива воды ниже мостовъ; именно, какъ видно изъ чер. 73 и 99—112 (Л. III—LVIII), за мостами лишь въ нѣ-

сколькихъ случаяхъ воды частью сливаются въ сѣверную сторону, а во всѣхъ случаяхъ сливаются на югъ; причемъ, при нѣкоторыхъ мостахъ, особенно на р. Рычѣ, этотъ сливъ на югъ, благодаря существованію вдоль русель гривокъ, происходитъ съ большой рѣзкостью. Эта причина существенно вліяетъ на пониженіе уровня воды въ низовомъ южномъ тиховодѣ. *Въ совокупности оба изложенныхъ вліянія косаго пересѣченія создаютъ наблюдаемое превышеніе перепадовъ между южными тиховодьями по сравненію съ сѣверными.*

Если бы въ частномъ случаѣ наблюдалось отверстіе поставленное на отдѣльномъ самостоятельномъ водотокѣ по срединѣ его и нормально къ пересѣченному участку русла и къ направленію общаго теченія, и если бы при этомъ берега русла были одинаковы и поймы по обѣ стороны русла равны по величинѣ и равносильны по расходу, то водная воронка получилась бы вполне симметричная, и обѣ ея щеки имѣли бы одинаковый поверхностный уклонъ, а также и водный бугоръ съ низовой стороны былъ бы симметриченъ. Въ этомъ частномъ случаѣ перепады между тиховодьями съ обѣихъ сторонъ моста были бы одинаковы. Но такъ какъ такой идеальный случай расположенія моста въ дѣйствительности не встрѣчается, то слѣдуетъ заключить, что *вообще перепады между тиховодьями на обоихъ концахъ моста бываютъ не одинаковы.*

По поводу рѣкъ Рычи, Бузана и Болды, для которыхъ въ вѣд. 27—40 и 63 помѣщены тиховодные перепады только съ сѣверной стороны слѣдуетъ пояснить, что на р. Рычѣ рейка въ низовомъ южномъ тиховодѣ находилась за гривкой, переливаясь черезъ которую, воды попадали какъ бы въ другой бассейнъ; и потому, эта рейка давала показанія, не имѣющія правильной связи съ верховой тиховодной рейкой. На р. Болдѣ Астраханскаго тиховодья не существуетъ, такъ какъ правый берегъ р. Болды окаймленъ оградительнымъ городскимъ валомъ. На р. Бузанѣ со стороны Астрахани оставался не затопленнымъ берегъ на протяженіи около 200 саж. выше и столько же ниже моста, вслѣдствіе чего рейки за Астраханскими струенаправляющими дамбами на р. Бузанѣ не могли быть поставлены.

Вліяніе возвышенныхъ гривокъ вдоль береговъ сказалось еще на перепадахъ при мостахъ черезъ ерики: Угланъ и Утюпкинъ. Эти ерики имѣють сравнительно высокія, мало заливаемые гривки по обоимъ берегамъ, вслѣдствіе чего тиховодные перепады при нихъ съ обѣихъ сторонъ получились нѣсколько преувеличенные. Въ дѣйствительности эти ерики въ порядкѣ перепадовъ должны были бы занять болѣе низкое мѣсто, чѣмъ имъ отведено въ вѣд. 63.

Изложенное выясняетъ вліяніе особенностей мѣстныхъ условій на величину тиховодныхъ перепадовъ; именно, *въ случаѣ существованія возвышенныхъ береговъ (гривокъ) вдоль русла, и если при сливѣ воды черезъ гривки происходитъ рѣзкое паденіе горизонта, т. е. перерывъ правильныхъ, связанныхъ линій тока, то перепады между тиховодьями опредѣленные за гривками не могутъ характеризовать водопропускную работу отверстія.* Въ этомъ случаѣ для полученія характерныхъ величинъ перепадовъ при мостахъ необходимо такъ обставить наблюденія, чтобы, по возможности, было избѣгнуто вліяніе береговыхъ гривокъ.

Наконецъ, слѣдуетъ отмѣтить, что къ числу мѣстныхъ особенностей, вліяющихъ на величину тиховодныхъ перепадовъ, относятся еще струенанправляющія дамбы, такъ какъ съ удлиненіемъ дамбы при сохраненіи прочихъ условій перепады между тиховодьями должны расти; при дельтовыхъ отверстіяхъ дамбы въ большинствѣ были короткія, и вліяніе ихъ на перепады было почти одинаково.

Приведенное изслѣдованіе тиховодныхъ перепадовъ даетъ основаніе къ заключенію, что они представляютъ величины болѣе характерные и могутъ привести къ болѣе положительнымъ выводамъ, чѣмъ тѣ результаты, которые обычно вычисляются по формулѣ (1) и ошибочно называются подпорами. Для **каждаго** отверстія, какъ выяснено, можетъ быть установлена законмѣрная зависимость между тиховодными перепадами и приращеніемъ скорости, въ результатѣ чего въ любой моментъ можетъ быть опредѣляема водопропускная работа отверстія по тиховодному перепаду, наблюденіе котораго по тиховоднымъ рейкамъ дѣлается быстро и безъ затрудненій. Для отверстій же

мало различных по бытовой мощности русель и по особенностям мѣстныхъ условій тиховодные перепады сами по себѣ, внѣ зависимости отъ другихъ элементовъ, являются критеріемъ для сравненія водопропускной работы отверстій. А потому, представляется полезнымъ, чтобы при отверстіяхъ обыкновенно опредѣлялись тиховодные перепады и чтобы для нихъ были выяснены функціональныя зависимости (65).

Заключеніе.

Изслѣдованіе настоящей главы можетъ быть резюмировано слѣдующимъ образомъ.

Объ обычно примняемой формулѣ подпора.

1) Принимаемая обычно за подпоръ разность горизонтовъ непосредственно передъ отверстіемъ и въ отверстіи, или разность горизонтовъ непосредственно выше и ниже отверстія, составляющія въ дѣйствительности лишь часть полного подпора, настолько малы по сравненію съ полнымъ подпоромъ, что не даютъ о немъ даже приближительнаго понятія.

2) Равнымъ образомъ и обычно примняемая формула подпора:

$$h = \frac{u^2 - u_1^2}{2g} \dots \dots \dots (1),$$

гдѣ u — средняя скорость въ отверстіи,

u_1 — средняя скорость притеканія,

дають результаты преуменьшенные противъ дѣйствительнаго полного подпора. Подстановка за u_1 дѣйствительной скорости въ мостовомъ руслѣ, въ предѣлахъ струенаправляющихъ дамбъ, непосредственно передъ отверстіемъ по существу не правильна; при ней формула (1) дають сравнительно совершенно малыя величины для подпора, такъ какъ скорость передъ отверстіемъ уже увеличена по сравненію съ бытовой скоростью подъ вліяніемъ подпора, и мало отличается отъ скорости въ отверстіи, особенно въ случаѣ рѣдко расположенныхъ мостовыхъ опоръ.

Подстановка въ форм. (1) за u_1 бытовой скорости всего потока, уменьшенной соответственно величинѣ подпора, по существу болѣе правильна, но и при этомъ формула (1) дають преуменьшенные

результаты противъ дѣйствительнаго полнаго подпора, такъ какъ она соотвѣтствуетъ случаю свободнаго паденія тѣла при отсутствіи сопротивленія движенію; она считается только съ площадями живыхъ сѣченій и не учитываетъ бытовыхъ гидродинамическихъ свойствъ русла отверстія и всего потока, а также мѣстныхъ особенностей, условий пересѣченія потока и расположенія отверстія.

Примѣненіе невѣрной формулы (1) для расчета полныхъ подпоровъ и степени затопленія окружающей мѣстности не можетъ привести къ правильнымъ заключеніямъ, такъ какъ она всегда даетъ преуменьшенные результаты. Во многихъ случаяхъ подпоры, рассчитанные по формулѣ (1) могутъ быть ничтожны, въ то время какъ дѣйствительные подпоры, а тѣмъ болѣе перепады составляютъ значительныя величины.

Дѣйствительный полный подпоръ долженъ быть выраженъ въ функціи (32).

3) Вслѣдствіе невѣрности представленія подпора какъ разности горизонтовъ водной поверхности непосредственно выше и ниже отверстія, или какъ разности горизонтовъ выше отверстія и въ отверстіи, результаты наблюдений указанныхъ разностей горизонтовъ являются малозначущими; тѣмъ болѣе, что точное наблюденіе этихъ величинъ сопряжено съ затрудненіями, такъ какъ водная поверхность непосредственно вблизи отверстія и въ отверстіи искажается вліяніемъ мостовыхъ опоръ.

О вліяніи промежуточныхъ мостовыхъ опоръ.

4) Промежуточныя мостовыя опоры оказываютъ существенное вліяніе на протеканіе водъ въ мостовыхъ руслахъ, на форму водной поверхности и на разность горизонтовъ непосредственно вблизи отверстія и въ отверстіи. Передъ промежуточными опорами образуются водные бугры, производящіе въ пролетахъ рядъ постоянныхъ волнъ. Кроме волненія промежуточныя опоры производятъ нарушеніе параллельноструйности теченія и сжатіе русловыхъ струй. Чѣмъ меньше пролеты и чѣмъ болѣе скорости протеканія водъ въ мостовыхъ руслахъ, тѣмъ искажающее вліяніе опоръ сильнѣе. Это указываетъ на то, что коэффициентъ расхода μ зависитъ не только отъ формы быковъ, но также въ значительной степени отъ размѣровъ проле-

товъ; при малыхъ пролетахъ, до 10 саж., значеніе μ должно быть меньше, чѣмъ при большихъ пролетахъ.

Во избѣжаніе рѣзкаго искаженія теченія въ мостовыхъ руслахъ промежуточными опорами, особенно при значительныхъ скоростяхъ протеканія, неумѣстна разбивка отверстій на пролеты меньше 10 саж.

Тиховодные перепады. 5) Съ бѣльшей достоверностью и цѣлесообразностью опредѣляются разности горизонтовъ по обѣ стороны полотна возлѣ отверстій—тиховодные перепады. Они опредѣляются по рейкамъ поставленнымъ возлѣ отверстія за струенаправляющими дамбами, въ тиховоды. Установка тиховодныхъ реекъ и точное наблюденіе ихъ производится быстро и безъ затрудненій.

6) При установкѣ тиховодныхъ реекъ должны быть приняты во вниманіе особенности мѣстныхъ условий, дабы показанія реекъ получались не искаженными; такъ, если русло окаймлено возвышенными берегами (гривками) и если при сливѣ воды черезъ гривки происходитъ рѣзкое паденіе горизонта, т. е. перерывъ правильныхъ, связанныхъ линій тока, то тиховодные перепады опредѣленные за гривками не могутъ характеризовать водопропускную работу отверстія.

7) Тиховодный перепадъ составляетъ болѣе значительную часть полного перепада по сравненію съ разностью горизонтовъ непосредственно выше и ниже отверстія и въ самомъ отверстіи; а потому, тиховодные перепады даютъ сравнительно болѣе ясное понятіе о размѣрахъ полныхъ перепадовъ, подъ вліяніемъ которыхъ протекаетъ водопропускная работа отверстій.

8) Тиховодные перепады h_t находятся въ непосредственной связи съ интенсивностью водопропускной работы отверстія и измѣняются, слѣдуя за измѣненіемъ этой работы. Въ каждый моментъ тиховодные перепады при данномъ отверстіи имѣютъ размѣры, находящіеся въ прямой зависимости отъ отношенія $\frac{s}{Q}$, отъ бытовыхъ гидродинамическихъ элементовъ русла перекрытаго отверстіемъ и

отъ особенностей мѣстныхъ условий, и могутъ быть выражены функцией:

$$h_T = f_{10} \left(\gamma, v_0, Q, i, \frac{s}{Q} \right) \dots \dots \dots (67),$$

гдѣ коэффициентъ γ характеризуетъ мѣстныя особенности, въ томъ числѣ расположеніе отверстія и длину струенанправляющихъ дамбъ; при сохраненіи прочихъ условий тиховодные перепады измѣняются въ одну сторону съ измѣненіемъ длинъ струенанправляющихъ дамбъ.

9) Чѣмъ мощнѣ русло перекрытое отверстіемъ, тѣмъ тиховодные перепады устойчивѣе; именно, подвержены меньшимъ измѣненіямъ съ переменною горизонтовъ воды.

10) Отдѣльно взятый тиховодный перепадъ, вне связи съ бытовыми гидродинамическими элементами русла отверстія и съ мѣстными особенностями, не можетъ дать понятія объ интенсивности водопропускной работы отверстія. Для отверстій же мало различныхъ по бытовой мощности руселъ и по особенностямъ мѣстныхъ условий, тиховодные перепады сами по себѣ, вне связи съ другими элементами, являются достаточнымъ критеріемъ для сравненія водопропускной работы отверстій.

11) Въ непосредственной закономерной связи съ тиховодными перепадами находится приращеніе скорости въ отверстіи по сравненію съ бытовой скоростью, бывшею въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіемъ. Эта зависимость выражается функцией:

$$h_T = f_9 (w) \dots \dots \dots (65),$$

гдѣ w — геометрическое приращеніе скорости и въ отверстіи по сравненію съ соотвѣтственною бытовой скоростью v_0 въ тѣхъ же предѣлахъ: $w = \sqrt{u^2 - v_0^2}$.

Функция (65) для каждаго даннаго случая можетъ быть легко обращена путемъ наблюдений въ явную зависимость. Для отверстій на Волжской дельтѣ функция (65) имѣетъ видъ:

$$w = 0.1022 \sqrt{h_T} + 0.02103 h_T \dots \dots \dots (66),$$

гдѣ w — въ $\frac{\text{см.ж.}}{\text{сек.}}$ и h — въ сотыхъ доляхъ сажени.

Выясненная для отверстій функция (65) даетъ возможность въ любой моментъ быстро опредѣлять ихъ водопропускную работу по тиховоднымъ перепадамъ, наблюдение которыхъ не сопряжено съ затрудненіемъ.

Функция (65) указываетъ, что приращеніе скорости въ отверстіи и добавочный уклонъ воронки и бугра находятся во взаимной закономерной зависимости.

12) Тиховодные перепады на обоихъ концахъ отверстія бываютъ, вообще говоря, не одинаковы; они искажаются мѣстными особенностями. Въ случаѣ косаго пересѣченія потока наблюдается превышеніе того тиховоднаго перепада, который относится къ концу отверстія, лежащему ниже по теченію.

13) Въ случаѣ группы отверстій тиховодные перепады устанавливаются при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ въ обратномъ соотношеніи съ бытовой мощностью руселъ отверстій.

14) Въ случаѣ группы отверстій при косомъ пересѣченіи потока происходитъ наростаніе тиховодныхъ перепадовъ при отверстіяхъ лежащихъ ниже по теченію.

15) Ввиду того, что тиховодные перепады являются характеристикой водопропускной работы отверстій и, какъ таковыя, могутъ привести къ болѣе положительнымъ выводамъ, чѣмъ обычно вычисляемые подпоры по формулѣ (1), представляется полезнымъ, впредь до выясненія функции (32) для полнаго дѣйствительнаго подпора, чтобы при отверстіяхъ опредѣлялись тиховодные перепады и чтобы для нихъ въ связи съ приращеніемъ скорости въ отверстіи были выясняемы функциональныя зависимости (65).

Часть шестая.

Выводы изъ результатовъ наблюдений въ отношеніи водопропускной работы отверстій на дельтѣ.

ГЛАВА XIII.

Дальнѣйшее изученіе результатовъ наблюдений въ отношеніи отверстій дельтоваго участка, и выясненіе его состоянія при наивысшемъ горизонтѣ водъ.

Изслѣдованіе приведенное въ предыдущихъ главахъ даетъ возможность развить изученіе водопропускной работы отверстій на дельтовомъ участкѣ. Въ главѣ XII установлено, что между тиховоднымъ перепадомъ и приращеніемъ скорости въ отверстіи существуетъ закономерная зависимость:

Выясненіе вида функціи $h_t = f(w)$ для дельтовыхъ отверстій.

$$h_t = f_0(w) \dots \dots \dots (65),$$

гдѣ:

$$w = \sqrt{u^2 - v_0^2} \dots \dots \dots (64).$$

Для выясненія этой зависимости для дельтовыхъ отверстій имѣются наблюденныя скорости въ мостовыхъ руслахъ u и тиховодные перепады h_t , что же касается бытовыхъ скоростей v_0 въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіями, то таковыя могутъ быть выяснены изъ имѣющихся бытовыхъ данныхъ.

Определение бытовых расходов водотоковъ въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіями. Въ обработанныхъ матеріалахъ бытовыхъ наблюдений высокихъ водъ на дельтѣ *) имѣются для всѣхъ водотоковъ параболическія кривыя зависимости бытовыхъ расходовъ отъ горизонтовъ. Но предѣлы живыхъ сѣченій, въ которыхъ наблюдались водотоки въ бытовыхъ условіяхъ лишь въ нѣсколькихъ случаяхъ совпадаютъ съ размѣрами построенныхъ отверстій, вообще же они отличаются отъ размѣровъ отверстій въ ту, или другую сторону. Поэтому въ частныхъ случаяхъ необходимо или выдѣлить изъ общаго расхода водотока часть его, падающую на предѣлы перекрытые отверстіемъ, или къ расходу водотока прибавить дополнительный расходъ прилегающаго участка поймы, вошедшаго въ отверстіе.

Въ отношеніи указанныхъ выше имѣющихся кривыхъ *) бытовыхъ расходовъ водотоковъ слѣдуетъ замѣтить, что онѣ построены съ тѣмъ соображеніемъ, чтобы проходили вблизи возможно большаго числа точекъ наблюденныхъ расходовъ; при этомъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ подъ вліяніемъ выпадающихъ, быть можетъ не вполне точно наблюденныхъ расходовъ, кривыя получились съ выпуклостью въ сторону оси абсциссъ (по оси абсциссъ отложены расходы, по оси ординатъ—горизонты). Между тѣмъ, *при нормальныхъ условіяхъ кривыя зависимости расходовъ водотоковъ отъ горизонтовъ во всѣхъ случаяхъ должны имѣть определенный видъ съ выпуклостью въ сторону оси ординатъ; кривыя же съ выпуклостью въ обратную сторону противорѣчатъ принципамъ гидравлики **).* Замѣченное отступленіе имѣющихся графиковъ отъ нормы побудило, прежде дальнѣйшаго изученія результатовъ наблюдений 1908 г., подвергнуть матеріалы бытовыхъ наблюдений повѣрочной обработкѣ для выясненія болѣе вѣроятной зависимости расходовъ отъ горизонтовъ.

При повѣрочной обработкѣ *примѣненъ слѣдующій методъ, обеспечивающій закономѣрное, не противорѣчащее принципамъ гидра-*

*) Результаты наблюдений весеннихъ водъ на дельтѣ р. Волги (въ бытовыхъ условіяхъ) въ 1904 г.

**) Инж. В. Г. Глушковъ. Возможная форма кривыхъ, выражающихъ зависимость величины площадей, скоростей и расходовъ водныхъ потоковъ отъ высоты стоянія горизонта воды. Приложение № 6.

влики очертаніе кривой расходовъ въ связи съ измѣненіемъ горизонтовъ. Пользуясь одной изъ наиболѣе оправдывающихся эмпирическихъ формулъ, можетъ быть установлена зависимость расхода отъ горизонта для участка нормального водотока, имѣющаго неизмѣнный уклонъ i_0 , неограниченную ширину, при однообразной глубинѣ b . Если ширина участка l_0 , то площадь его живаго сѣченія:

$$\omega = l_0 b,$$

подводный радіусъ $R = b$,

скорость $v = c \sqrt{R i_0}$,

и расходъ $q = \omega v$.

Коэффициентъ c по новой формулѣ Базена *), составленной на основаніи многочисленныхъ наблюденій:

$$c = \frac{87}{1 + \frac{1.3}{\sqrt{R}}} \quad (\text{для метр. мѣръ});$$

гдѣ 1.3 коэффициентъ шероховатости для естественнаго русла.
Для саженныхъ мѣръ:

$$c = \frac{59.6}{1 + \frac{0.89}{\sqrt{R}}} \dots \dots \dots (68).$$

При этомъ коэффициентъ по вышеприведеннымъ формуламъ составлена таблица 65 расходовъ участка нормального водотока при различныхъ глубинахъ, при ширинѣ $l_0 = 100$ саж. и при уклонѣ $i_0 = 0.0001$. На основаніи таблицы 65 вычерчена кривая расходовъ нормального водотока (чер. 137. Л. LXIV), которая названа для простоты „нормальной кривой расхода“.

Съ нормальною кривою можетъ быть поставлена въ связь кривая измѣненія расходовъ въ любомъ потокѣ. Для каждаго потока при нѣкоторомъ горизонтѣ воды n расходъ выражается:

$$Q_n = \Omega_n c_n \sqrt{R_n i_n} \approx L_n R_n c_n \sqrt{R_n i_n} \dots \dots \dots (69),$$

гдѣ L_n —ширина потока по урѣзу воды;

R_n —подводный радіусъ; для упрощенія средняя глубина принята равной подводному радіусу;

*) *Hydraulique*, par A. Flammant. 1909. p. 190.

ТАБЛИЦА 65

расходовъ нормальнаго участка водотока, при ширинѣ $l_0=100$ с., уклонѣ $i_0=0.0001$ и коэффициентѣ шероховатости въ формулѣ Базена $\gamma=1.30$ въ метр. мѣрахъ и $\gamma=0.89$ въ сажен. мѣрахъ.

Глубина b саж.	Ширина $l_0=100$ с. саж.	Площадь $\omega=l_0 b$ кв. саж.	Подводный радіусъ R саж.	Коэффиц. $c=\frac{59.6}{1+\frac{0.89}{\sqrt{R}}}$	Скорость $v=c \sqrt{R i_0}$ саж./сек.	Расходъ $q=\omega v$ куб. саж.
0.10	100	10	0.10	15.40	0.048	0.48
0.20	100	20	0.20	20.02	0.09	1.80
0.30	100	30	0.30	22.76	0.125	3.75
0.40	100	40	0.40	24.70	0.155	6.20
0.50	100	50	0.50	26.45	0.188	9.40
0.60	100	60	0.60	27.64	0.213	12.78
0.80	100	80	0.80	29.80	0.265	21.20
1.00	100	100	1.00	31.53	0.315	31.50
1.50	100	150	1.50	34.47	0.42	63.30
2.00	100	200	2.00	36.54	0.515	103.00
2.50	100	250	2.50	38.13	0.602	150.50
3.00	100	300	3.00	39.37	0.681	204.30
4.00	100	400	4.00	41.24	0.825	330.00
5.00	100	500	5.00	42.66	0.956	478.00
6.00	100	600	6.00	43.72	1.071	642.60
7.00	100	700	7.00	44.61	1.182	827.40
8.00	100	800	8.00	45.36	1.284	1027.20
9.00	100	900	9.00	45.95	1.378	1240.20
10.00	100	1000	10.00	46.53	1.47	1470.00

c_n —коэффициентъ въ формулѣ Базена, соотвѣтствующій подводному радіусу R_n ;

i_n —уклонъ, соотвѣтствующій данному горизонту n .

При томъ же подводномъ радіусѣ R_n расходъ участка нормального водотока опредѣляется:

$$q_n = l_0 R_n c_n \sqrt{R_n i_0}.$$

Отношеніе расходовъ:

$$\frac{Q_n}{q_n} = \frac{L_n R_n c_n \sqrt{R_n i_n}}{l_0 R_n c_n \sqrt{R_n i_0}} = \frac{L_n \sqrt{i_n}}{l_0 \sqrt{i_0}};$$

а такъ какъ для принятаго участка нормального водотока:

$$l_0 \sqrt{i_0} = 100 \sqrt{0.0001} = 1,$$

то отношеніе:

$$\frac{Q_n}{q_n} = L_n \sqrt{i_n} \dots \dots \dots (70).$$

Выраженіе (70) даетъ соотношеніе, существующее между расходомъ даннаго потока Q_n и соотвѣтственнымъ расходомъ q_n по нормальной кривой. Отсюда:

$$\frac{Q_n}{q_n L_n} = \sqrt{i_n} = \varepsilon_n \dots \dots \dots (71).$$

Если по выраженію (71) опредѣлить для наблюденныхъ расходовъ переходные коэффициенты— ε_n , то по нимъ можно вычертить кривую ε , откладывая переходные коэффициенты, какъ абсциссы, противъ соотвѣтственныхъ горизонтовъ, отсчитываемыхъ по оси ординатъ (чер. 138. Л. LXIV). Проведенная по нанесеннымъ точкамъ кривая ε должна включать въ себѣ совокупность всѣхъ вліяній, обусловливающихъ отличіе дѣйствительныхъ расходовъ потока отъ „нормальныхъ“, каковы: измѣненіе уклона, иное значеніе коэффициента шероховатости, чѣмъ принятое для нормального водотока и проч. По кривой ε опредѣляется коэффициентъ ε_n для любого горизонта, какъ находящагося въ предѣлахъ наблюденій, такъ и внѣ ихъ, но не выступающаго далеко изъ этихъ предѣловъ. Зная для любого горизонта переходный коэффициентъ ε_n , ширину потока L_n и подводный радіусъ R_n , можно опредѣлить и соотвѣтственный расходъ Q_n на основаніи уравненія (71):

$$Q_n = \varepsilon_n q_n L_n \dots \dots \dots (72).$$

Выраженіе (72) благодаря связи съ нормальной кривой устраняетъ произвольныя колебанія при построеніи кривой бытовыхъ расходовъ потока; и потому, даже при болѣе или менѣе значительной экстраполяціи результаты должны получиться обезпеченными какъ въ соотвѣтствіи съ наблюденными данными, такъ и съ общими законами гидравлики; въ то время какъ невѣрность непосредственнаго начертанія параболическихъ кривыхъ расхода можетъ повести при значительной экстраполяціи къ результатамъ, далеко уклоняющимся отъ истинныхъ.

Указаннымъ путемъ, въ согласіи съ нормальною кривою, вновь построены кривыя бытовыхъ расходовъ всѣхъ дельтовыхъ водотоковъ и опредѣлены ихъ наибольшія значенія при горизонтѣ с. в. водъ. Для образца на чер. 138 (Л. LXIV) представлены кривыя переходнаго коэффиціента ϵ и бытовыхъ расходовъ р. Ахтубы.

Наибольшіе бытовые расходы водотоковъ при горизонтѣ с. в. водъ, опредѣленные по уравненію (72), приведены въ вѣд. 67. Сравненіе ихъ съ вѣд. 3, въ которой приведены предѣльные бытовые расходы водотоковъ по параболическимъ кривымъ начертаннымъ непосредственно по точкамъ наблюденій показываетъ, что общая расходимость результатовъ повѣрочнаго расчета выражается въ:

$$2448 - 2344 *) = 104 \text{ куб. саж.},$$

что составляетъ прибавку лишь въ 4.4%. Такимъ образомъ, повѣрочное опредѣленіе расходовъ водотоковъ при помощи нормальныхъ кривыхъ въ общемъ не дало крупной разницы противъ опредѣленія непосредственно по параболическимъ кривымъ; въ частности же для нѣкоторыхъ водотоковъ разница достигла большой величины: для ер. Гнилуши—129%, ер. Углана 60% и для р. Ахтубы 33%.

*) По вѣд. 3 бытовой расходъ водотоковъ за вычетомъ расхода поймъ: $2872 - (238 + 230) = 2404$ куб. саж., а за вычетомъ расхода Мѣщанскаго затона, не вошедшаго въ сумму 2448 куб. саж., бытовой расходъ водотоковъ составляетъ: $2404 - 60 = 2344$ куб. саж.

Переходя къ опредѣленію бытовыхъ расходовъ въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіями, слѣдуетъ замѣтить, что выдѣленіе изъ общаго расхода водотока части его, а равно прибавка къ расходу водотока дополнительнаго расхода прилегающаго участка поймы могутъ быть произведены также при помощи нормальной кривой. Если для цѣлаго сѣченія имѣемъ ширину L и подводный радіусъ R , а для части сѣченія l и r , то по нормальной кривой соотвѣтственные расходы опредѣляются:

$$\left. \begin{aligned} q_R &= 100 R c_R \sqrt{R \times 0.0001} = R c_R \sqrt{R} \\ q_r &= 100 r c_r \sqrt{r \times 0.0001} = r c_r \sqrt{r} \end{aligned} \right\} \dots (73).$$

Дѣйствительные же расходы всего водотока и части его опредѣляются:

$$\left. \begin{aligned} Q_R &= L R c_R \sqrt{R i} \\ Q_r &= l r c_r \sqrt{r i} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (74).$$

Сопоставленіе уравненій (74) и (73) даетъ:

$$\left. \begin{aligned} Q_R &= L q_R \sqrt{i} \\ Q_r &= l q_r \sqrt{i} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (75).$$

Откуда:

$$Q_r = \frac{l}{L} \cdot \frac{q_r}{q_R} \cdot Q_R \dots \dots \dots (76).$$

Выраженіе (76) показываетъ, что для полученія расхода Q_r части водотока слѣдуетъ полный расходъ Q_R умножить на отношеніе расходовъ по нормальной кривой $\frac{q_r}{q_R}$ и на отношеніе ширинъ $\frac{l}{L}$.

Если сопоставить выраженіе (76) съ выраженіемъ (71), то получается:

$$Q_r = q_r l \varepsilon_R \dots \dots \dots (77),$$

т. е., что для полученія расхода Q_r отръзка водотока слѣдуетъ расходъ по нормальной кривой, соотвѣтствующій подводному ра-

диусу этой части, умножить на переходный коэффициент ε_R данного водотока и на ширину l его отръзка.

Такимъ же образомъ, по формулѣ (77) можетъ быть опредѣленъ бытовой расходъ прирѣзка поймы въ томъ случаѣ, когда отверстіемъ перекрытъ не только весь водотокъ, но еще часть поймы, если для упрощенія предположить, что прилегающая къ водотоку часть поймы имѣетъ одинаковые съ водотокомъ продольный уклонъ и коэффициентъ шероховатости. *Расходъ прирѣзка поймы также равенъ расходу по нормальной кривой, взятому для подводнаго радіуса прирѣзка, умноженному на переходный коэффициентъ главного русла и на ширину прирѣзка.*

Опредѣленные указаннымъ путемъ бытовые расходы Q при горизонтѣ с. в. водъ въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіями приведены въ вѣд. 67.

Вычисленіе квадратичнаго приращенія w скорости въ отверстіи противъ бытовой скорости. Формула (64) можетъ быть представлена въ слѣдующемъ видѣ:

$$w = \sqrt{u^2 - v_0^2} = u \sqrt{1 - \left(\frac{v_0}{u}\right)^2} = u \sqrt{1 - \frac{1}{\beta^2}} \dots (78),$$

гдѣ:

$$\beta = \frac{u}{v_0} \dots \dots \dots (79).$$

Скорости v_0 для данного горизонта опредѣляются по соответственному бытовому расходу Q и площади мостоваго русла ω ; элементы же Q и ω находятся въ функціи отъ бытовыхъ горизонтовъ. Поэтому, является необходимость опредѣлить бытовые горизонты, соответствующіе днямъ наблюдений. Если бы для бытовыхъ условій была установлена зависимость между водною поверхностью по линіи перехода и водомѣрнымъ постомъ, находящимся въ небольшомъ удаленіи отъ линіи, однако же внѣ ея вліянія, тогда послѣ сооруженія желѣзнодорожной линіи можно было бы безъ затрудненія точно возстановить для любого момента соответственные бытовые горизонты вдоль линіи по показаніямъ водомѣрнаго поста. Но какъ такой связи до постройки дельтоваго участка не было установлено, то бытовые горизонты вдоль желѣзнодорожной линіи, соответствующіе днямъ наблю-

деній высокихъ водъ 1908 г., могутъ быть опредѣлены лишь приближенно по слѣдующимъ соображеніямъ. Чертежъ 73 (Л. XXVIII) и построенные на основаніи его, подобно чер. 75 (Л. XXIX), для каждого дня наблюденій совмѣщенія верховыхъ и низовыхъ водныхъ поверхностей вдоль линіи даютъ указанія на тѣ предѣлы, въ которыхъ находятся соотвѣтствующія линіи бытовой водной поверхности. Бытовая поверхность должна быть ниже подпорной верховой поверхности и не можетъ далеко отходить отъ низовой поверхности. Предѣлы эти, въ данномъ случаѣ вообще не большіе, еще болѣе суживаются тѣмъ соображеніемъ, что бытовая поверхность не можетъ возвышаться сколько нибудь значительно надъ горизонтами наблюденными въ мостовыхъ руслахъ передъ отверстиями, такъ какъ эти горизонты приподняты на высоту водныхъ бугровъ; хотя при этомъ нельзя упустить изъ виду, что низовая водная поверхность можетъ быть понижена противъ бытовой вслѣдствіе того, что часть бытового расхода задерживается линіей и направляется по коренному руслу р. Волги. При изложенныхъ условіяхъ горизонты наблюденные въ мостовыхъ руслахъ передъ отверстиями должны быть весьма близки къ соотвѣтственнымъ бытовымъ горизонтамъ, какъ это и было выяснено въ гл. VIII *) въ отношеніи наивысшихъ горизонтовъ. Въ согласіи съ приведенными соображеніями и руководствуясь очертаніемъ бытовой водной поверхности высокихъ водъ вдоль линіи перехода, очертаніемъ выясненнымъ бытовыми наблюденіями, были проведены на чертежахъ, подобныхъ чер. 75, для каждого дня наблюденій вѣроятныя бытовые водныя поверхности. Отмѣтки ихъ въ мѣстахъ отверстій приведены въ расчетной таблицѣ 66. Тамъ же приведены соотвѣтствующіе этимъ отмѣткамъ бытовые расходы Q въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстиями, наблюденные въ мостовыхъ руслахъ расходы S и среднія скорости u (величины S и u выписаны изъ сводной вѣдомости 42).

*) Гл. VIII. Статья: „Выясненіе наивысшихъ горизонтовъ и наибольшихъ расходовъ въ наблюденныхъ живыхъ сѣченіяхъ дельтовыхъ водотоковъ“.

ТАБЛИЦА 66

расчета приращенія w скорости въ отверстіи противъ бытовой скорости.

№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ОТВЕРСТІЙ.	Время наблюденій.	Наблюденные:			Соотвѣтствующіе:		$\frac{Q}{Q_0} = \frac{1}{\alpha^2} \sqrt{1 - \frac{1}{\alpha^2}}$	Приращеніе скорости w .	
			тиховодный перепадъ h_t .	средняя скорость въ мостовомъ руслѣ u .	расходъ въ отверстіи S .	отмѣтки бытового горизонта.	бытовой расходъ въ наблюд. живомъ сѣченіи мостового русла Q_0 .			
въ соткахъ.	саж./сек.	куб. саж.	отмѣтки бытового горизонта.	куб. саж.						
1	р. Ахтуба	1908 г.								
		Мая 28	3.5	0.48	293	37.145	251	0.857	0.518	0.25
		Іюня 4	3.0	0.425	252	37.05	223	0.885	0.468	0.20
		6	3.0	0.42	251	37.035	217	0.865	0.502	0.21
		7	2.5	0.425	250	37.02	214	0.856	0.519	0.22
		8	2.5	0.41	243	37.01	210	0.864	0.500	0.21
		9	2.5	0.395	233	37.00	207	0.888	0.458	0.18
2	р. Бузанъ	Мая 25	3.0	0.63	1394	37.09	1265	0.907	0.419	0.26
		27	3.5	0.645	1445	37.105	1284	0.888	0.459	0.30
		29	3.5	0.66	1466	37.10	1275	0.870	0.494	0.32
		31	3.0	0.63	1349	37.085	1262	0.935	0.360	0.23
		Іюня 3	2.5	0.605	1356	37.05	1227	0.905	0.428	0.26
		5	2.5	0.605	1350	37.025	1200	0.889	0.459	0.27
		6	3.0	0.61	1342	37.01	1186	0.884	0.469	0.28
		7	3.0	0.605	1350	37.00	1174	0.870	0.494	0.30
		8	3.0	0.60	1294	36.985	1162	0.900	0.436	0.26
		9	2.0	0.595	1296	36.97	1145	0.884	0.469	0.28

№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ОТВЕРСТІЙ.	Время наблюденій.	Наблюденные:			Соотвѣтствующіе:		$\frac{Q}{s} = \frac{1}{p} \sqrt{1 - \frac{1}{p^2}}$	Приращеніе скорости и.	
			тиховодный пере- падъ h_t .	средняя скорость въ мостовомъ руслѣ и.	расходъ въ отвер- стіи S.	отѣтки бытового гори- зонта.	бытовой расходъ въ наблюд. живомъ сѣченіи мостового русла Q.			
										въ сот- кахъ.
60	ер. Банный.	Мая								
		25	5.0	0.31	27	37.045	3.3	0.122	0.993	0.31
		26	5.5	0.34	30	37.06	3.4	0.113	0.994	0.34
		27	6.0	0.35	30	37.07	3.4	0.113	0.994	0.35
		28	5.5	0.33	29	37.07	3.4	0.117	0.993	0.33
		30	4.5	0.31	26	37.05	3.4	0.131	0.992	0.31
		Іюня								
		2	4.0	0.28	24	37.025	3.3	0.137	0.991	0.28
		3	3.5	0.29	24	37.00	3.2	0.133	0.992	0.29
		4	3.0	0.29	23	36.98	3.1	0.135	0.991	0.29
		5	2.5	0.30	24	36.97	3.1	0.129	0.992	0.30
		6	2.5	0.29	23	36.965	3.1	0.135	0.991	0.29
		7	1.5	0.29	23	36.945	3.0	0.130	0.992	0.29
4	ер. Безымянный.	Мая								
		25	5.5	0.35	16	37.02	3.5	0.219	0.976	0.34
		27	7.0	0.44	20	37.04	3.6	0.180	0.984	0.43
		28	6.0	0.41	19	37.035	3.5	0.184	0.983	0.40
		29	5.0	0.39	16	37.03	3.5	0.219	0.976	0.38
		30	5.0	0.39	17	37.025	3.5	0.206	0.979	0.38
		31	4.5	0.38	17	37.015	3.5	0.206	0.979	0.37
		Іюня								
		2	4.0	0.35	15	36.99	3.4	0.226	0.975	0.34
		3	4.5	0.31	13	36.97	3.3	0.254	0.968	0.30
		4	4.0	0.32	13	36.955	3.2	0.246	0.969	0.31
		5	3.5	0.29	12	36.94	3.2	0.258	0.965	0.28
		6	3.5	0.26	11	36.93	3.1	0.261	0.968	0.25
		7	3.5	0.21	9	36.915	3.1	0.344	0.941	0.20

№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ОТВЕРСТІЙ.	Время наблюдений.	Наблюденные:			Соответствующіе:		$\frac{Q}{S} = \frac{1}{C} \sqrt{1 - \frac{1}{C^2}}$	Приращеніе скорости и.	
			тиховодный перепадъ h_t .	средняя скорость въ мостовомъ руслѣ и.	расходъ въ отвѣстѣ S.	отмѣтки бытового горизонта.	бытовой расходъ въ наблюд. живомъ сѣченіи мостового русла Q.			
										въ соткахъ.
5	ер. Узк. Есаулъ. .	Мая 27	8.0	0 49	28	36.985	9.8	0.351	0.936	0.46
		29	8.5	0.42	24	36.97	9.7	0.404	0.915	0.38
		30	8.0	0.42	24	36.96	9.6	0.400	0.916	0.38
		31	7.0	0.42	23	36.95	9.5	0.413	0.910	0.38
		Іюня 2	6.0	0.42	23	36.94	9.4	0.408	0.912	0.38
		3	7.0	0.38	21	36.92	9.3	0.443	0.897	0.34
		4	6.5	0.37	20	36.91	9.2	0.460	0.889	0.33
		5	5.5	0.41	22	36.90	9.1	0.413	0.911	0.37
		6	5.5	0.40	21	36.885	9.0	0.429	0.904	0.36
		7	4.5	0.36	18	36.87	8.8	0.488	0.872	0.31
6	р. Крив. Вузъ. . .	Мая 24	5.5	0.50	69	36.905	33.9	0.491	0.871	0.44
		27	6.0	0.50	76	36.95	35.1	0.462	0.887	0.44
		29	5.5	0.50	75	36.94	34.9	0.465	0.886	0.44
		31	5.5	0.50	73	36.93	34.6	0.474	0.881	0.44
		Іюня 2	4.5	0.47	69	36.92	34.3	0.497	0.868	0.41
		3	4.5	0.46	66	36.895	33.6	0.510	0.860	0.40
		6	3.5	0.39	54	36.855	32.6	0.604	0.798	0.31
		7	3.0	0.40	55	36.84	32.1	0.584	0.813	0.32
7	ер. Волтайка . . .	Мая 27	11.5	0.66	40	36.915	4.9	0.122	0.993	0.65
		29	11.5	0.60	33	36.915	4.9	0.148	0.989	0.59
		30	11.5	0.58	33	36.905	4.8	0.146	0.990	0.57
		31	11.5	0.56	31	36.91	4.8	0.155	0.990	0.55

№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ОТВЕРСТІЙ.	Время наблюдений.	Наблюденные:			Соответствующіе:		$\frac{Q}{\sigma} = \frac{1}{\varphi} \sqrt{1 - \frac{1}{\varphi^2}}$	Приращеніе скорости и.	
			тиховодный перепад h_T .	средняя скорость въ мостовомъ руслѣ и.	расходъ въ отверстіи S.	отмѣтки бытового горизонта.	бытовой расходъ въ наблюд. живомъ сѣченіи мостового русла Q.			
въ сот-кахъ.	саж./сек.	куб. саж.	отмѣтки бытового горизонта.	куб. саж.						
		Іюня								
		3	9.0	0.58	34	36.875	4.6	0.135	0.990	0.57
		4	9.5	0.57	33	36.865	4.5	0.136	0.990	0.56
		5	9.5	0.52	30	36.85	4.4	0.147	0.990	0.51
		6	9.0	0.54	32	36.83	4.3	0.134	0.990	0.53
		7	8.5	0.52	30	36.82	4.2	0.140	0.990	0.51
8	ер. Гнилуша . . .	Мая								
		28	12.5	0.64	65	36.86	14.6	0.225	0.973	0.62
		29	11.5	0.66	66	36.855	14.4	0.218	0.976	0.64
		30	10.5	0.61	62	36.845	14.0	0.226	0.973	0.59
		31	10.5	0.59	58	36.845	14.0	0.240	0.971	0.57
		Іюня								
		2	9.5	0.44	45	36.845	14.0	0.311	0.952	0.42
		3	9.5	0.43	42	36.83	13.5	0.321	0.947	0.41
		4	8.5	0.455	44	36.81	12.8	0.291	0.957	0.44
		5	8.0	0.43	42	36.80	12.5	0.298	0.955	0.41
		7	8.0	0.42	41	36.77	11.5	0.280	0.960	0.40
		8	8.0	0.39	38	36.755	11.0	0.290	0.957	0.37
		9	8.0	0.38	39	36.745	10.6	0.272	0.962	0.37
		10	7.5	0.37	38	36.725	10.0	0.263	0.966	0.36
9	р. Рыча	Мая								
		25	2.5	0.38	50	36.785	33.0	0.660	0.752	0.29
		26	3.5	0.37	51	36.79	33.1	0.650	0.760	0.28
		27	4.0	0.39	53	36.80	33.4	0.630	0.777	0.30
		29	3.0	0.35	49	36.79	33.1	0.676	0.738	0.26

№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ОТВЕРСТІЙ.	Время наблюдений.	Наблюдаемые:			Соответствующие:		$\frac{Q}{\omega} = \frac{1}{\omega}$	$\sqrt{1 - \frac{1}{\omega^2}}$	Приращение скорости ω .
			тиховодный перепад h_t .	средняя скорость въ мостовомъ руслѣ u .	расходъ въ отвѣр-стїи S .	отмѣтки бытового горизонта.	бытовой расходъ въ наблюд. живомъ сѣченіи мостового русла Q .			
			въ сот-кахъ.	саж./сек.	куб. саж.	куб. саж.	куб. саж.			саж./сек.
		Мая 30	3.0	0.33	46	36.79	33.1	0.717	0.696	0.23
		31	3.0	0.37	53	36.79	33.1	0.622	0.785	0.29
		Іюня 2	3.5	0.32	46	36.795	33.2	0.721	0.693	0.22
		3	3.0	0.34	48	36.77	32.7	0.681	0.732	0.25
		4	3.0	0.34	47	36.75	32.0	0.680	0.734	0.25
		5	3.5	0.32	44	36.74	31.9	0.725	0.692	0.22
		6	3.0	0.30	42	36.71	31.0	0.738	0.677	0.20
10	ер. Угланъ	Мая 25	4.0	0.24	12	36.64	3.1	0.258	0.966	0.23
		26	5.0	0.26	13	36.665	3.3	0.254	0.968	0.25
		27	5.5	0.28	15	36.675	3.4	0.227	0.975	0.27
		28	5.5	0.32	16	36.68	3.4	0.212	0.978	0.31
		29	5.5	0.28	14	36.67	3.3	0.236	0.971	0.27
		30	5.0	0.26	12	36.665	3.3	0.275	0.962	0.25
		31	4.0	0.25	12	36.65	3.2	0.266	0.965	0.24
		Іюня 2	5.0	0.24	11	36.66	3.2	0.291	0.956	0.23
		3	3.5	0.21	11	36.62	3.0	0.273	0.963	0.20
		4	3.0	0.20	10	36.59	2.7	0.270	0.962	0.19
		5	2.5	0.17	8	36.58	2.7	0.337	0.942	0.16
		6	1.0	0.15	7	36.545	2.4	0.343	0.942	0.14
		7	1.5	0.10	5	36.51	2.2	0.440	0.903	0.09
11	ер. Утюшкинъ . .	Мая 26	5.5	0.35	29	36.63	2.7	0.093	0.996	0.35
		27	5.5	0.33	27	36.64	2.8	0.104	0.995	0.34

ММ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ОТВЕРСТІЙ.	Время наблюдений.	Наблюденные:			Соответствующіе:		$\frac{Q}{S} = \frac{1}{\varphi} \sqrt{1 - \frac{1}{\varphi^2}}$	Приращеніе скорости и.
			тиховодный пере- падъ h_t .	средняя скорость въ мостовомъ руселъ и.	расходъ въ отвер- стіи S.	отмѣтки бытового гори- зонта.	бытовой расходъ въ наблюд. живомъ сѣченіи мостового русла Q.		
въ сот- кахъ.	саяж./сек.	куб. саяж.	куб. саяж.	саяж./сек.					
		Мая							
		28	5.5	0.32	27	36.64	2.8	0.104	0.32
		29	4.5	0.32	27	36.63	2.7	0.100	0.32
		30	4.5	0.30	26	36.63	2.7	0.104	0.30
		31	4.0	0.31	26	36.625	2.7	0.104	0.31
		Іюня							
		2	4.0	0.31	26	36.615	2.7	0.104	0.31
		3	3.5	0.25	21	36.58	2.5	0.119	0.25
		4	3.5	0.24	20	36.565	2.5	0.125	0.24
		5	2.5	0.18	15	36.56	2.4	0.160	0.18
		6	2.5	0.18	14	36.52	2.3	0.164	0.18
		7	1.5	0.16	12	36.495	2.1	0.175	0.16

Замечаніе: Отверстія черезъ Отводъ 3-хъ ериковъ и черезъ р. Болду въ таблицу не вклю-
чены ввиду исключительности условий, созданныхъ въ Отводѣ пересыпкой ериковъ съ
устройствомъ длиннаго искусственнаго русла и въ р. Болдѣ—островомъ между двумя
руслами.

Ввиду незначительной разницы между горизонтами въ наблю-
денныхъ живыхъ сѣченіяхъ мостовыхъ руселъ и соответствен-
ными бытовыми горизонтами, можно приближенно для даннаго
случая принять:

$$\beta = \frac{u}{v_0} = \frac{S}{Q} \dots \dots \dots (80),$$

гдѣ S и Q расходы: въ отверстіи и бытовой.

Согласно съ изложеннымъ въ таб. 66 сдѣланъ расчетъ приращенія скоростей w для всѣхъ дней наблюдений, для 11 мостовыхъ русель.

Выясненіе зависимости между приращеніями скоростей w и тиховодными перепадами h_t . Результаты расчетной таблицы 66 нанесены на графикъ 139 (Л. LXV), въ которомъ по оси абсциссъ отложены w и по оси ординатъ h_t . Этотъ графикъ обнаруживаетъ закономерную зависимость между нанесенными элементами не только по каждому водотоку отдѣльно, но общую для всѣхъ дельтовыхъ водотоковъ, которая обнимается плавною кривою w симметрично проходящею относительно всѣхъ точекъ графика. Общая кривая зависимости имѣетъ ту благоприятную сторону, что она свободна отъ вліянія случайно выпадающихъ результатовъ наблюдений, и потому, болѣе достоверна.

Для выясненія уравненія кривой w былъ составленъ вспомогательный графикъ зависимости w отъ $\sqrt{h_t}$, изъ котораго усмотрѣно, что зависимость w отъ \sqrt{h} не линейная; вслѣдствіе чего установлено, что кривая w въ функціи отъ h не второго порядка, а дробнаго. Поэтому, уравненію кривой приданъ видъ:

$$w = a\sqrt{h_t} + bh_t \dots \dots \dots (81).$$

Коэффициенты a и b въ выраженіи (81) опредѣляются по графику 139:

$$0.30 = a\sqrt{4.25} + b \cdot 4.25,$$

$$0.624 = a\sqrt{12.5} + b \cdot 12.5,$$

откуда:

$$a = 0.1022 \text{ и } b = 0.02103.$$

Такимъ образомъ получается для дельтовыхъ водотоковъ окончательный видъ функціи (65):

$$w = 0.1022\sqrt{h_t} + 0.02103 h_t \dots \dots \dots (66),$$

гдѣ h_t — въ соткахъ,

w — въ $\frac{\text{сж.}}{\text{сек.}}$.

На графикѣ 139 нанесена еще для сравненія кривая величинъ h , определенныхъ по обычно применяемой для подпора формулѣ (1):

$$h = \frac{u^2 - v_0^2}{2g} = \frac{u^2}{2g};$$

причемъ здѣсь за скорость подхода принята бытовая скорость v_0 въ предѣлахъ мостового русла.

Сравненіе кривыхъ h_T и h наглядно подтверждаетъ заключеніе гл. XII о томъ, что обычно применяемая для подпора формула (1) даетъ результаты преуменьшенные противъ дѣйствительнаго подпора и особенно противъ дѣйствительнаго полного перепада.

Въ гл. VIII вычислены по выясненнымъ на основаніи наблюденій параболическимъ кривымъ наибольшіе расходы, которые слѣдуетъ ожидать въ мостовыхъ отверстіяхъ на дельтѣ при наивысшемъ подъемѣ воды. Пользуясь установленной въ настоящей главѣ связью между гидродинамическими элементами наблюденными въ бытовыхъ условіяхъ и послѣ сооруженія линіи, представляется возможнымъ рѣшить инымъ путемъ задачу выясненія явленій, которыя должны имѣть мѣсто при проходѣ черезъ отверстія с. в. водъ,—задачу, имѣющую большое значеніе какъ въ вопросѣ обезпеченія устойчивости сооружений, такъ и охраненія жилыхъ пунктовъ отъ затопленія.

Выясненіе водопропускной работы дельтовыхъ отверстій при наивысшемъ подъемѣ воды.

Опредѣленіе площадей живыхъ сѣченій мостовыхъ руселъ при наивысшемъ подъемѣ воды можетъ быть сдѣлано съ достаточнымъ приближеніемъ, принимая сообразно съ изложеннымъ въ настоящей главѣ и въ гл. VIII, что въ данномъ случаѣ горизонты водъ въ наблюденныхъ живыхъ сѣченіяхъ мостовыхъ руселъ передъ отверстіями незначительно отличаются отъ соответственныхъ бытовыхъ горизонтовъ.

Исчисленіе площадей сдѣлано двоякимъ способомъ: исходя изъ площадей наблюденныхъ въ 1908 г. при высшемъ наблюденномъ горизонтѣ (площади приведены въ вѣд. 42) съ прибавкою прирѣзка по разности горизонтовъ самаго высокаго и

ожидаемыхъ гидравлическихъ элементовъ въ

№ по порядку.	НАЗВАНІЕ ВОДОТОКОВЪ.	1.	2.	3.	4.
		Отѣтки бытового горизонта с. в. водъ.	Отѣтки вѣртной наивышей объемлющей подпорной кривой противъ отверстій.	Бытовые расходы водо- токовъ при horiz. с. в. водъ.	Бытовые расходы въ пре- дѣлахъ мостовыхъ отвер- стіи при horiz. с. в. водъ.
				куб. саж.	
1	р. Ахтуба	37.30	37.35	310.0	310.0
2	» Бузанъ	37.27	37.34	1461.0	1461.0
3	ер. Банный	37.22	37.33	6.1	3.8
4	» Безымянный	37.18	37.30	6.0	4.1
5	» Проточный	37.15	37.27	7.0	3.0
6	» Узк. Есауль	37.11	37.22	10.7	11.1
7	р. Крив. Бузь	37.07	37.16	38.6	38.6
8	ер. Болтайка	37.03	37.14	13.7	5.8
9	» Гнилуша	36.97	37.10	22.9	18.8
10	р. Рыча	36.90	36.99	36.1	36.3
11	ер. Угланъ	36.80	36.92	3.2	4.6
12	» Утюпкинь	36.76	36.87	2.8	3.4
13	Отводъ 3-хъ ериковъ	36.72	36.85	41.0	50.0
14	р. Болда	36.69	36.80	489.0	489.0
	Итого	—	—	2448	2439

ЛОМОСТЬ 67

мостовых руслахъ при горизонтѣ с. в. водъ.

5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
Измѣненія, происходящія въ теченіе года въ сѣченіи живыхъ сѣченій при гориз. с. в. водъ ω	Измѣненія, происходящія въ теченіе года въ сѣченіи живыхъ сѣченій при гориз. с. в. водъ ω	Высота скорости въ предѣлахъ мостовыхъ отверстій при гориз. с. в. водъ $v_0 = \frac{Q}{\omega}$	Вѣроятные тиховодные перепады при с. в. водахъ h_t	Квадратичное приращеніе скорости w	Среднія ожидаемая скорости въ мостов. руслахъ при гориз. с. в. водъ u	Вычисленные наибольш. расходы въ мостовыхъ руслахъ $S' = u \times \omega$	Ожидаем. наибольш. расходы въ мостов. руслахъ по кривымъ расходовъ S	$\frac{Q}{\omega}$	Стѣшеніе живыхъ сѣченій подъ мостами ρ/ω	Ожидаемая средняя скорости подъ мостами при гориз. с. в. водъ u'
кв. саж.	кв. саж.	саж./сек.	сотки.	саж./сек.	саж./сек.	куб. саж.	куб. саж.			саж./сек.
643.2	644.0	0.48	4.7	0.319	0.58	360.7	363	1.16	9.5	0.67
260.0	2280.0	0.64	4.4	0.306	0.71	1609.4	1622	1.10	6.3	0.80
90.4	91.9	0.04	10.4	0.549	0.54	50.0	41	13.18	15.0	0.71
54.8	56.8	0.07	9.3	0.508	0.51	28.6	28	6.98	15.0	0.67
66.8	67.8	0.04	13.0	0.640	0.64	43.1	47	14.37	15.0	0.84
59.4	61.3	0.18	12.4	0.618	0.64	38.8	39	3.50	15.0	0.84
155.5	160.5	0.24	9.1	0.499	0.55	87.2	97	2.26	15.0	0.72
61.7	65.0	0.09	15.3	0.719	0.73	45.9	52	7.91	15.0	0.95
104.0	105.7	0.18	16.4	0.758	0.78	81.7	92	4.34	15.0	1.02
147.0	142.3	0.25	4.0	0.287	0.38	55.0	62	1.52	3.8	0.42
60.4	61.4	0.08	9.4	0.510	0.51	31.1	32	6.76	15.0	0.67
89.9	89.5	0.04	8.2	0.465	0.46	41.8	43	12.27	15.0	0.61
175.2	173.2	0.29	5.5	0.353	0.45	79.4	85	1.59	15.0	0.60
1202.2	1213.4	0.41	3.0	0.240	0.47	572.5	529	1.17	8.5	0.55
5170.5	5212.8	—	—	—	—	3125	3132	—	—	—

того высшаго, который былъ наблюденъ въ 1908 г.; и путемъ вычисленія изъ наблюденій для каждаго русла отмѣтки средняго дна H_0 . Эта отмѣтка опредѣляется, взявъ среднюю арифметическую изъ отмѣтокъ средняго дна H_n , опредѣленныхъ для всѣхъ дней наблюденій на основаніи наблюденныхъ площадей живыхъ сѣченій ω_n въ сопоставленіи съ соответственными отмѣтками H'_n горизонта воды, т. е.:

$$H_0 = \frac{\sum H_n}{n} \dots \dots \dots (82),$$

$$\text{но } H_n = H'_n - \frac{\omega_n}{l} \dots \dots \dots (83),$$

гдѣ l — отверстіе моста, величина близкая къ ширинѣ мостоваго русла.

Тогда:

$$H_0 = \frac{1}{n} \sum \left(H'_n - \frac{\omega_n}{l} \right) = \frac{1}{n} \left[\sum H'_n - \frac{\sum \omega_n}{l} \right] \dots \dots \dots (84).$$

По этой формулѣ подсчитаны отмѣтки H_0 средняго дна для всѣхъ водотоковъ по даннымъ наблюденій за всѣ дни, приведеннымъ въ вѣд. 42. Изложенный способъ расчета площадей по отмѣткамъ средняго дна примѣнимъ въ данномъ случаѣ, такъ какъ размывъ дна руселъ за періодъ наблюденій былъ въ общемъ малъ.

Результаты вычисленія по обоимъ способамъ площадей живыхъ сѣченій мостовыхъ руселъ для горизонта с. в. водъ приведены въ вѣд. 67; откуда видно, что расходимость двоякаго вычисленія составляетъ совершенно малую величину какъ для каждаго русла въ отдѣльности, такъ и для общей суммы: $5212.8 - 5170.5 = 42.3$ кв. с., или 0.8% , чѣмъ подтверждается правильность вычисленій.

Опредѣленіе бытовыхъ скоростей при гориз. с. в. водъ въ предѣлахъ мостовыхъ руселъ. Бытовые среднія скорости v_0 въ предѣлахъ мостовыхъ руселъ для гор. с. в. водъ опредѣлены въ вѣд. 67 по вычисленнымъ бытовымъ расходамъ Q и по площадямъ живыхъ сѣченій ω :

$$v_0 = \frac{Q}{\omega} \dots \dots \dots (85).$$

Если принять во вниманіе, что при опредѣленіи площадей ω учтены дѣйствительныя очертанія мостовыхъ руселъ послѣ искусственной разработки и нѣкотораго происшедшаго размыва, между тѣмъ какъ расходы Q относятся къ бытовымъ живымъ сѣченіямъ, то понятно, что для точнаго расчета скоростей v_0 слѣдовало бы ввести тѣ расходы Q , какіе были бы въ бытовыхъ условіяхъ до постройки линіи, но послѣ разработки руселъ до размѣровъ ω ; но для такой поправки Q данныхъ не имѣется. Поэтому, приведенныя въ вѣд. 67 скорости v_0 являются лишь приближенными, хотя и довольно близкими къ дѣйствительнымъ, такъ какъ при мѣстной, не имѣющей въ длину большаго развитія, разработкѣ руселъ бытовой расходъ ихъ подвергается малымъ измѣненіямъ.

Опредѣленіе тиховодныхъ перепадовъ h_T для гор. с. в. водъ.
Тиховодные перепады въ силу функціи (67) *) находятся въ зависимости, кромѣ мѣстныхъ особенностей, отъ элементовъ v_0 , Q , i , $\frac{s}{Q}$; всѣ же эти элементы въ свою очередь зависятъ отъ высоты стоянія воды; а потому, тиховодные перепады находятся въ прямой зависимости отъ горизонта воды.

Такъ какъ бытовые горизонты, соотвѣтствующіе днямъ наблюденій точно не извѣстны, то представляется болѣе удобнымъ, минуя переводъ каждодневныхъ подпорныхъ горизонтовъ въ бытовые, *связать тиховодные перепады съ подпорными горизонтами.* За подпорные горизонты представляется возможнымъ взять приходящіяся противъ отверстій отмѣтки объемлющихъ линій, плавно соединяющихъ водораздѣлы водной поверхности съ верховой стороны полотна. Объемлющія линіи легко выясняются по чер. 73 (Л. XXVIII); отмѣтки ихъ y противъ отверстій для всѣхъ дней наблюденій выписаны въ таблицѣ 68 и отложены по оси ординатъ въ графикахъ на чер. 140 (Л. LXVI), гдѣ по оси абсциссъ отложены соотвѣтственные наблюденные тиховодные перепады. Нанесенныя на графики 140 точки подтверждаютъ существованіе въ дѣйствительности прямой зависимости

*) Глава XII.

ТАБЛИЦА 68

опредѣленія уравненій (86) линій зависимости между y и h_T , и расчета наибольших тиховодных перепадов $\max. h_T$.

Дни наблюдений.	Отметки объемлющихъ подпорныхъ кривыхъ (подпорные горизонты) y .		Тиховодные перепады h_T .	УРАВНЕНИЯ ЛИНИЙ ЗАВИСИМОСТИ.	Дни наблюдений.	Отметки объемлющихъ подпорныхъ кривыхъ (подпорные горизонты) y .		Тиховодные перепады h_T .	УРАВНЕНИЯ ЛИНИЙ ЗАВИСИМОСТИ.
	въ тысячныхъ.					въ тысячныхъ.			
1908 г.	1) р. Ахтуба.				1908 г.	2) р. Бузанъ.			
Мая 25	(37) + 170	30			Мая 25	(37) + 130	30		
26	185	35	$c=0.07342.$		26	150	35	$c=0.0559.$	
27	190	35	$d=20.90.$		27	160	35	$d=24.703.$	
28	190	35	$h_T=0.07342 \cdot y+20.90.$		28	150	35	$h_T=0.0559 \cdot y+24.703.$	
29	190	35	$y_{max.}=37.353.$		29	145	35	$y_{max.}=37.341.$	
30	185	35	$max.h_T=46.82.$		30	135	30	$max.h_T=43.76.$	
31	185	35			31	135	30		
Июня 3	115	25			Июня 3	90	25		
4	100	30			4	80	30		
5	90	25			5	50	25		
6	80	30			6	50	30		
7	60	25			7	40	30		
Мая 25	3) ер. Ванный.				Мая 25	4) ер. Безымянный.			
25	(37) + 130	50			25	(37) + 120	55		
26	150	55	$c=0.2739.$		26	130	65	$c=0.2124.$	
27	155	60	$d=13.28.$		27	140	70	$d=29.44.$	
28	150	55	$h_T=0.2739 \cdot y+13.28.$		28	130	60	$h_T=0.2124 \cdot y+29.44.$	
29	150	50	$y_{max.}=37.332.$		29	130	50	$y_{max.}=37.300.$	
30	130	45	$max.h_T=104.21.$		30	120	50	$max.h_T=93.16.$	
31	120	45			31	110	45		

Дни наблюдений.	Отметки объемлющих подпорных кривых (подпорные горизонты) y .		Тиховодные перепады h_T .	УРАВНЕНИЯ ЛИНИЙ ЗАВИСИМОСТИ.	Дни наблюдений.	Отметки объемлющих подпорных кривых (подпорные горизонты) y .		Тиховодные перепады h_T .	УРАВНЕНИЯ ЛИНИЙ ЗАВИСИМОСТИ.
	въ тысячныхъ.					въ тысячныхъ.			
Июня 2	(37)+90	40			Июня 2	(37)+80	40		
3	80	35			3	70	45		
4	50	30			4	50	40		
5	45	25			5	40	35		
6	35	25			6	20	35		
7	20	15			7	0	35		
5) ер. Проточный.					6) ер. Узк. Есаулъ.				
Мая 25	(36.9)+190	95			Мая 25	(36.9)+140	85		
26	210	95	$c=0.2104.$		26	160	80	$c=0.2582.$	
27	220	100	$d=50.77.$		27	160	80	$d=42.17.$	
28	210	95	$h_T=0.2104 \cdot y+50.77.$		28	150	85	$h_T=0.2582 \cdot y+42.17.$	
29	200	90	$y_{\max}=37.274.$		29	150	85	$y_{\max}=37.215.$	
30	200	85	$\max h_T=129.46.$		30	140	80	$\max h_T=123.50.$	
31	190	90			31	130	70		
Июня 2	170	90			Июня 2	110	60		
3	150	85			3	90	70		
4	130	80			4	70	65		
5	120	75			5	60	55		
6	100	70			6	40	55		
7	70	65			7	20	45		
7) р. Ерив. Вузъ.					8) ер. Болтайка.				
Мая 25	(36.8)+190	55			Мая 25	(36.8)+160	105		
26	200	55	$c=0.2177.$		26	180	115	$c=0.24.$	
27	210	60	$d=11.96.$		27	180	115	$d=71.36.$	
28	210	55	$h_T=0.2177 \cdot y+11.96.$		28	180	115	$h_T=0.24 \cdot y+71.36.$	

Дни наблюдений.	Отметки объемлющих подпорных кривых (подпорные горизонты) y .		Тиховодные перепады h_T .	УРАВНЕНИЯ ЛИНИЙ ЗАВИСИМОСТИ.	Дни наблюдений.	Отметки объемлющих подпорных кривых (подпорные горизонты) y .		Тиховодные перепады h_T .	УРАВНЕНИЯ ЛИНИЙ ЗАВИСИМОСТИ.
	въ тысячныхъ.					въ тысячныхъ.			
Мая 29	(36.8)+200	55		$y_{\max.} = 37.163.$	Мая 29	(36.8)+180	115		$y_{\max.} = 37.138.$
30	190	55		$\max. h_T = 90.99.$	30	160	115		$\max. h_T = 152.48.$
31	190	55			31	160	115		
Июня 2	160	45			Июня 2	150	105		
3	150	45			3	120	90		
4	130	35			4	100	95		
5	110	35			5	90	95		
6	90	35			6	70	90		
7	80	30			7	50	85		
Мая 25	9) ер. Гнилуша.				Мая 25	10) р. Рыча.			
	(36.8)+140	105				(36.7)+140	25		
26	150	110	$c = 0.3453.$		26	160	35	$c = 0.0519.$	
27	160	125	$d = 60.33.$		27	170	40	$d = 24.697.$	
28	160	125	$h_T = 0.3453 \cdot y + 60.33.$		28	170	35	$h_T = 0.0519 \cdot y + 24.697.$	
29	150	115	$y_{\max.} = 37.100.$		29	150	30	$y_{\max.} = 36.992.$	
30	140	105	$\max. h_T = 163.92.$		30	150	30	$\max. h_T = 39.85.$	
31	140	105			31	150	30		
Июня 2	130	95			Июня 2	150	35		
3	100	95			3	120	30		
4	90	85			4	100	30		
5	70	80			6	50	30		
6	50	90							
Мая 25	11) ер. Угланъ.				Мая 25	12) ер. Утюпинъ.			
	(36.5)+210	40				(36.5)+180	45		
26	240	50			26	200	55		

Дни наблюдений.	Отметки объемлющихъ подпорныхъ кривыхъ (подпорные горизонты) y .		Тиховодные перепады h_T .	УРАВНЕНИЯ ЛИНИЙ ЗАВИСИМОСТИ.	Дни наблюдений.	Отметки объемлющихъ подпорныхъ кривыхъ (подпорные горизонты) y .		Тиховодные перепады h_T .	УРАВНЕНИЯ ЛИНИЙ ЗАВИСИМОСТИ.
	въ тысячныхъ.					въ тысячныхъ.			
Мая 27	(36.5)+260	55		$c=0.2414.$	Мая 27	(36.5)+220	55		$c=0.2062.$
28	250	55		$d=-6.615.$	28	210	55		$d=6.77.$
29	240	55		$h_T=0.2414 \cdot y-6.615.$	29	200	45		$h_T=0.2062 \cdot y+6.77.$
30	220	50		$y_{max}=36.916.$	30	190	45		$y_{max}=36.866.$
31	210	40		$max.h_T=93.81.$	31	190	40		$max.h_T=82.24.$
Июня 2	230	50			Июня 2	190	40		
3	180	35			3	150	35		
4	140	30			4	130	35		
5	130	25			5	100	25		
6	70	10			6	70	25		
					7	40	15		
13) Отводъ 3-хъ ериковъ.					14) р. Волда.				
Мая 25	(36.5)+150	30			Мая 25	(36.5)+130	20		
26	170	35		$c=0.1094.$	26	150	20		$c=0.0771.$
27	180	35		$d=16.526.$	27	155	25		$d=7.123.$
28	180	35		$h_T=0.1094 \cdot y+16.526.$	28	155	20		$h_T=0.0771 \cdot y+7.123.$
29	170	35		$y_{max}=36.848.$	29	150	20		$y_{max}=36.796.$
30	170	35		$max.h_T=54.60.$	30	140	20		$max.h_T=29.94.$
31	160	35			31	140	15		
Июня 2	170	35			Июня 2	145	10		
3	140	35			3	125	15		
4	120	30			4	120	15		
5	100	25			5	105	15		
6	70	25			6	70	10		
7	40	20			7	55	15		

наблюдённых тиховодных перепадовъ отъ горизонтовъ водъ и указываютъ, что эта зависимость съ достаточнымъ приближеніемъ можетъ быть выражена прямыми линіями. Начертаніе по точкамъ наблюденій какихъ либо кривыхъ въ данномъ случаѣ, какъ видно изъ графиковъ 140, была бы не обоснованнымъ и не придало бы бѣльшей вѣроятности тѣмъ величинамъ, которыя должны быть опредѣлены экстраполированіемъ установленной зависимости за предѣлы наблюденій. Уравненія прямыхъ линій подсчитаны въ таблицѣ 68 по способу наименьшихъ квадратовъ:

$$h_T = cy + d \quad (86).$$

Значенія коэффиціентовъ c и d получаютъ изъ совмѣстнаго рѣшенія двухъ уравненій, въ которыхъ n — число наблюденій:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma h_T y &= c \Sigma y^2 + d \Sigma y \\ \Sigma h_T &= c \Sigma y + d n \end{aligned} \right\} \quad (87),$$

откуда:

$$c = \frac{n \Sigma h_T y - \Sigma h_T \Sigma y}{n \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2} \quad (88),$$

$$d = \frac{\Sigma h_T \Sigma y^2 - \Sigma h_T y \Sigma y}{n \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2} \quad (89).$$

Экстраполяція прямыхъ (86) въ сторону наивысшихъ горизонтовъ даетъ возможность опредѣлить вѣроятную наибольшую величину тиховодныхъ перепадовъ, если извѣстны предѣльные горизонты объемлющихъ кривыхъ.

Выясненіе этихъ послѣднихъ можетъ быть сдѣлано въ зависимости отъ бытовыхъ горизонтовъ. Вѣроятные бытовые горизонты для каждаго дня наблюденій были приведены въ таб. 66, они нанесены по абсциссамъ на графики чер. 140 и совмѣстно съ отмѣтками объемлющей подпорной кривой даютъ для всѣхъ отверстій ясно выраженные прямые линіи. Если отмѣтки объ-

емлющей подпорной кривой y и бытовые горизонты x , то линейная зависимость между ними:

$$y = ex + f.$$

Постоянные e и f для каждого отверстия опредѣлены въ расчетной таблицѣ 69 по способу наименьшихъ квадратовъ изъ системы уравненій:

$$\left. \begin{aligned} \Sigma xy &= e \Sigma x^2 + f \Sigma x \\ \Sigma y &= e \Sigma x + fn \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (90).$$

Экстраполяція выясненныхъ прямыхъ линій въ близкихъ отъ наблюдений предѣлахъ позволяетъ по наивысшему бытовому горизонту опредѣлить горизонты наивысшей объемлющей подпорной кривой. Эти горизонты опредѣлены въ таб. 69, нанесены на графикахъ на чер. 140 и включены въ вѣд. 67 и въ табл. 68.

Зная отмѣтки наивысшей объемлющей подпорной кривой, остается опредѣлить вѣроятныя наибольшія величины тиховодныхъ перепадовъ, что и сдѣлано аналитически въ табл. 68 и графически на чер. 140.

Опредѣленные такимъ путемъ величины *max. h_x тиховодныхъ перепадовъ при горизонтѣ с. в. водъ* приведены въ вѣд. 67; откуда видно, что эти величины находятся въ предѣлахъ отъ 0.03 до 0.16 саж.

Вычисленіе скоростей и расходовъ, ожидаемыхъ при горизонтѣ с. в. водъ въ мостовыхъ руслахъ. По сосредоточеннымъ въ вѣд. 67 тиховоднымъ перепадамъ *max. h_x* , при помощи формулы (66), опредѣляются приращенія скоростей w въ мостовыхъ руслахъ въ наблюденныхъ сѣченіяхъ передъ мостами; а по w могутъ быть опредѣлены ожидаемыя при горизонтѣ с. в. водъ скорости въ тѣхъ же сѣченіяхъ мостовыхъ руселъ по формулѣ (64):

$$u = \sqrt{w^2 + v_0^2}.$$

ТАБЛИЦА 69

расчета отмітокъ наивысшей объемлющей подпорной кривой при горизонтѣ с. в. водъ.

Дни наблюдений.	Батомые горизон- ты x .	Отмѣтки объемлю- щихъ подпорныхъ кривыхъ (подпор- ные горизонты) y .	УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ x и y .
	въ тысячныхъ.		
1908 г.			
1) р. Ахтуба.			
Мая			
25	(37)+125	(37)+170	$87300 = e \cdot 61775 + f \cdot 535.$ $815 = e \cdot 535 + f \cdot 6.$
27	145	190	$e = 1.027.$
29	135	190	$f = 44.652.$
Июня			
3	70	115	$y = 1.027x + 44.652.$
5	40	90	$x_{\max.} = 37.300.$
7	20	60	$y_{\max.} = 37.353.$
$\Sigma =$	535	815	
2) р. Бузанъ.			
Мая			
25	(37)+090	(37)+130	$48750 = e \cdot 32250 + f \cdot 370.$ $615 = e \cdot 370 + f \cdot 6.$
27	105	160	$e = 1.147.$
29	100	145	$f = 31.769.$
Июня			
3	50	90	$y = 1.147x + 31.769.$
5	25	50	$x_{\max.} = 37.270.$
7	00	40	$y_{\max.} = 37.341.$
$\Sigma =$	370	615	

Дни наблюдений.	Бытовые горизон- ты x .	Отметки объемлю- щих подпорных кривых (подпор- ные горизонты) y .	УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ x и y .
	въ тысячныхъ.		
Мая	3) ер. Банный.		
25	(36)+1045	(36)+1130	$6681750 = e \cdot 6173350 + f \cdot 6080.$ $6580 = e \cdot 6080 + f \cdot 6.$
27	1070	1155	$e = 1.141.$
29	1050	1150	$f = -59\ 546.$
Июня			
3	1000	1080	$y = 1.141x - 59.546.$
5	970	1045	$x_{\max} = 37.220.$
7	945	1020	$y_{\max} = 37.332.$
$\Sigma =$	6080	6580	
Мая	4) ер. Безымянный.		
25	(36.9)+120	(36.9)+220	$108900 = e \cdot 57625 + f \cdot 515.$ $1100 = e \cdot 515 + f \cdot 6.$
27	140	240	$e = 1.117.$
29	130	230	$f = 87.458.$
Июня			
3	70	170	$y = 1.117x + 87.458.$
5	40	140	$x_{\max} = 37.180.$
7	15	100	$y_{\max} = 37.300.$
$\Sigma =$	515	1100	

Дни наблюдений.	Бытовые горизон-	Отметки объемлю- щих подпорных кривых (подпор- ные горизонты) y .	УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ x и y .
	въ тысячныхъ.		
Мая	5) ер. Проточный.		
25	(36.8)+195	(36.8)+290	$265650 = e \cdot 170475 + f \cdot 975.$ $1550 = e \cdot 975 + f \cdot 6.$
27	215	320	$e = 1.152.$
29	200	300	$f = 71.134.$
Июня			
3	150	250	$y = 1.152x + 71.134.$
5	125	220	$x_{\max.} = 37.150.$
7	90	170	$y_{\max.} = 37.274.$
$\Sigma =$	975	1550	
Мая	6) ер. Узк. Есауль.		
25	(36.8)+170	(36.9)+140	$97100 = e \cdot 121325 + f \cdot 815.$ $620 = e \cdot 815 + f \cdot 6.$
27	185	160	$e = 1.213.$
29	170	150	$f = -61.433.$
Июня			
3	120	90	$y = 1.213x - 61.433.$
5	100	60	$x_{\max.} = 37.110.$
7	70	20	$y_{\max.} = 37.215.$
$\Sigma =$	815	620	

УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ ЗАВИСИМОСТИ
МЕЖДУ x и y .

Дни наблюдений.	Бытовые горизон- ты x .	Отметки объёмлю- щих подпорных кривых (подпор- ные горизонты) y .	УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ x и y .
	въ тысячныхъ.		
Мая	7) р. Крив. Бузь.		
25	(36.8)+125	(36.8)+190	$108950 = e . 73975 + f . 625.$
27	150	210	$940 = e . 625 + f . 6.$
29	140	200	$e = 1.244.$
Июня			$f = 27.083.$
3	95	150	$y = 1.244x + 27.083.$
5	75	110	$x_{\max.} = 37.070.$
7	40	80	$y_{\max.} = 37.163.$
$\Sigma =$	625	940	
Мая	8) ер. Волтайка.		
25	(36.8)+100	(36.8)+160	$71900 = e . 44975 + f . 475.$
27	115	180	$780 = e . 475 + f . 6.$
29	115	180	$e = 1.377.$
Июня			$f = 20.987.$
3	75	120	$y = 1.377x + 20.987.$
5	50	90	$x_{\max.} = 37.030.$
7	20	50	$y_{\max.} = 37.138.$
$\Sigma =$	475	780	

Дни наблюдений.	Батовые горизон- ты x .	Отметки объемлю- щих подпорных кривых (подпор- ные горизонты) y .	УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ x и y .
	въ тысячныхъ.		
Мая	9) ер. Гнилуша.		
25	(36.7)+150	(36.8)+140	$92650 = e \cdot 103925 + f \cdot 765.$ $660 = e \cdot 765 + f \cdot 6.$
27	160	160	$e = 1.331.$
29	155	150	$f = -59.702.$
Июня			
3	130	100	$y = 1.331x - 59.702.$
5	100	70	$x_{\max} = 36.970.$
7	70	40	$y_{\max} = 37.100.$
$\Sigma =$	765	660	
Мая	10) р. Рыча.		
25	(36.7)+ 85	(36.7)+140	$54600 = e \cdot 31850 + f \cdot 390.$ $710 = e \cdot 390 + f \cdot 6.$
27	100	170	$e = 1.29.$
29	90	150	$f = 34.48.$
Июня			
3	70	120	$y = 1.29x + 34.48.$
5	40	90	$x_{\max} = 36.900.$
7	5	40	$y_{\max} = 36.992.$
$\Sigma =$	390	710	

Дни наблюдений.	Бытовые горизон- ты x .	Отметки объемлю- щих подпорных кривых (подпор- ные горизонты) y	УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ x и y .
	въ тысячныхъ.		
Мая	11) ер. Угланъ.		
25	(36.5)+140	(36.5)+210	$148100 = e \cdot 100025 + f \cdot 695.$
27	175	260	$1060 = e \cdot 695 + f \cdot 6.$
29	170	240	$e = 1.297.$
Июня			$f = 26.431.$
3	120	180	$y = 1.297x + 26.431.$
5	80	130	$x_{\max.} = 36.800.$
7	10	40	$y_{\max.} = 36.916.$
$\Sigma =$	695	1060	
Мая	12) ер. Утюпинъ.		
25	(36.4)+210	(36.5)+180	$183400 = e \cdot 221625 + f \cdot 1115.$
27	240	220	$890 = e \cdot 1115 + f \cdot 6.$
29	230	200	$e = 1.249.$
Июня			$f = -83.772.$
3	180	150	$y = 1.249x - 83.772.$
5	160	100	$x_{\max.} = 36.760.$
7	95	40	$y_{\max.} = 36.866.$
$\Sigma =$	1115	890	

Дни наблюдений.	Бытовые горизон- ты x .	Отметки объемлю- щих подпорных кривых (подпор- ные горизонты) y .	УРАВНЕНИЕ ЛИНИИ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ x и y .
	въ тысячныхъ.		
Мая	13) Отводъ 3-хъ ериковъ.		
25	(36.4)+150	(36.5)+150	$121100 = e . 128850 + f . 850.$ $780 = e . 850 + f . 6.$
27	180	180	$e = 1.257.$
29	180	170	$f = -48.074.$
Июня			
3	145	140	$y = 1.257x - 48.074.$
5	125	100	$x_{\max.} = 36.72.$
7	70	40	$y_{\max.} = 36.848.$
$\Sigma =$	850	780	
Мая	14) р. Волда.		
25	(36.4)+130	(36.5)+130	$100975 = e . 110325 + f . 795.$ $720 = e . 795 + f . 6.$
27	170	155	$e = 1.118.$
29	160	150	$f = -28.135.$
Июня			
3	140	125	$y = 1.118x - 28.135.$
5	110	105	$x_{\max.} = 36.690.$
7	85	55	$y_{\max.} = 36.796.$
$\Sigma =$	795	720	

Затѣмъ по u и ω опредѣляются ожидаемые при горизонтѣ с. в. водъ расходы въ мостовыхъ руслахъ:

$$S' = u\omega \dots \dots \dots (91).$$

Вычисленные такимъ образомъ величины u и S' включены въ вѣд. 67.

Наконецъ, исходя изъ вычисленныхъ скоростей u въ живыхъ сѣченіяхъ мостовыхъ руселъ передъ отверстиями и сообразуясь со стѣсненіемъ ($r^0/\%$) мостового русла опорами, въ вѣд. 67 вычислены еще ожидаемыя при горизонтѣ с. в. водъ среднія скорости u' въ отверстияхъ подъ мостами:

$$u' = \frac{u}{\frac{100-r}{100}} \dots \dots \dots (92).$$

При расчетѣ скорости u' для запаса предположено, что ни въ одномъ случаѣ, не исключая неукрѣпленныхъ руселъ, подъ мостомъ не образуется дополнительнаго размыва по сравненію съ живымъ сѣченіемъ передъ мостомъ.

Изъ вѣд. 67 (графа 10) видно, что *ожидаемыя при горизонтѣ с. в. водъ среднія скорости u въ мостовыхъ руслахъ передъ отверстиями находятся въ предѣлахъ: при постоянныхъ мостахъ отъ 0.38 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (р. Рыча) до 0.71 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (р. Бузангъ), и при мостахъ на деревянныхъ опорахъ отъ 0.45 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (Отводъ 3-хъ ерик.) до 0.78 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (ер. Гнилуша).*

Ожидаемая (съ запасомъ) при горизонтѣ с. в. водъ среднія скорости въ самыхъ отверстияхъ находятся въ предѣлахъ: подъ постоянными мостами отъ 0.42 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (р. Рыча) до 0.80 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (р. Бузангъ), и подъ мостами на деревянныхъ опорахъ отъ 0.60 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (Отводъ 3-хъ ерик.) до 1.02 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (ер. Гнилуша).

Приведенныя скорости даютъ указаніе на тѣ предѣлы, которые не могутъ быть сколько-нибудь значительно превзойдены скоростями по дну.

Вмѣстѣ съ тѣмъ слѣдуетъ замѣтить, что ожидаемыя при с. в. водахъ среднія скорости въ отверстияхъ на судоходныхъ рѣкахъ не достигаютъ бытовыхъ среднихъ скоростей Кор. Волги въ нижнемъ плесѣ, каковыя скорости во многихъ участкахъ

достигаютъ 1 $\frac{\text{сант.}}{\text{сек.}}$ *). Поэтому, условія движенія судовъ подъ построенными мостами при проходѣ с. в. водъ не болѣе затруднительны, чѣмъ это имѣетъ мѣсто на р. Волгѣ въ бытовыхъ условіяхъ въ періодъ высшаго подъема водъ. Въ дѣйствительности, за трехлѣтній періодъ послѣ сооруженія линіи не было замѣчено при высокихъ водахъ на судоходныхъ рѣкахъ неудобствъ ни для сплава, ни для взводнаго судоходства.

*Вычисленные въ вѣд. 67 отношенія $\frac{S'}{Q}$ даютъ ясное понятіе о происшедшемъ измненіи характера водопропускной работы руселъ перекрытыхъ отверстіями по сравненію съ бытовыми условіями. Для мощныхъ руселъ: Ахтубы, Бузана и Болды, въ отношеніи коихъ бытовой расходъ прегражденныхъ частей поймъ между соотвѣтственными водораспределительными линіями является незначительнымъ, — для этихъ руселъ наибольшій добавочный расходъ въ отверстіи по сравненію съ бытовымъ расходомъ составляетъ отъ 10 до 17%; для прочихъ же руселъ малой мощности наибольшій добавочный расходъ по сравненію съ бытовымъ составляетъ отъ 52% (р. Рыча) до 1337% (ер. Проточный). Слѣдовательно, водопропускная работа руселъ малой мощности подверглась благодаря сооруженію линіи настолько рѣзкому измненію, что гидравлическія условія этихъ мостовыхъ руселъ не могутъ быть даже отдаленно сравниваемы съ ихъ бытовыми условіями. Этотъ результатъ наблюденій согласуется съ проектными предположеніями **).*

Общій ожидаемый наибольшій расходъ черезъ все отверстія опредѣлился въ 3125 куб. саж., по сравненію съ бытовымъ расходомъ водотоковъ болѣе на: $3125 - 2448 = 677$ куб. саж.; таковъ дополнительный расходъ поступающій въ отверстія съ поймъ.

Какъ можно видѣть изъ сопоставленія вычисленныхъ по изложенному способу расходовъ S' (графа 11 въ вѣд. 67) съ тѣми расходами S (графа 12), которые получены въ гл. VIII

*) Бытовая средняя скорость р. Волги при с. в. водахъ въ Екатериненштадтѣ — $1.03 \frac{\text{сант.}}{\text{сек.}}$, въ Увекскомъ сѣченіи подъ Саратовомъ — $0.97 \frac{\text{сант.}}{\text{сек.}}$ (Инж. А. М. Фроловъ. Проектъ перехода черезъ р. Волгу подъ гор. Саратовомъ).

**) Стр. 75 гл. II, т. I.

прямо по кривымъ, связывающимъ наблюденные въ 1908 г. горизонты и расходы въ предѣлахъ мостовыхъ руселъ, расходимость между обоими графами незначительна какъ въ отдѣльности по каждому водотоку, такъ и въ суммѣ; суммы расходовъ по обоимъ графамъ отличаются между собою всего на $1\frac{1}{4}\%$. Такая близкая сходимость результатовъ вычислений съ результатами простой экстраполяціи позволяетъ сдѣлать заключеніе о правильности принятаго выше способа изслѣдованія каждой изъ входящихъ въ задачу зависимостей и о достовѣрности полученныхъ результатовъ.

Объемлющія линіи, плавно соединяющія водораздѣлы водной поверхности съ верховой стороны полотна, не могутъ служить къ опредѣленію точныхъ величинъ подпоровъ при отверстіяхъ, такъ какъ онѣ ограничиваютъ водную поверхность непосредственно возлѣ полотна, между тѣмъ какъ подпоръ опредѣляется возвышеніемъ надъ бытовой водной поверхностью подпорной линіи, окаймляющей воронку. Къ этому надо присовокупить, что, какъ уже извѣстно, горизонты верховыхъ водораздѣловъ искажаются сліяніемъ воронокъ втораго порядка въ зависимости отъ взаимнаго разстоянія между сосѣдними отверстіями. Тѣмъ не менѣе сопоставленіе объемлющихъ подпорныхъ линій съ бытовыми водными поверхностями, хотя приближенно, можетъ освѣтить вопросъ о величинѣ дѣйствительныхъ полныхъ подпоровъ. Съ этою цѣлью представляется возможнымъ использовать вычисленные для дельтоваго участка и приведенные въ вѣд. 67 горизонты объемлющей подпорной кривой при проходѣ с. в. водъ. Вычерченная по этимъ горизонтамъ предѣльная объемлющая подпорная кривая нанесена на чер. 74 (Л. XXIX), на которомъ изображена также линія наивысшей бытовой водной поверхности вдоль линіи. Изъ чер. 74 усматривается, что возвышеніе объемлющей кривой надъ бытовой поверхностью при проходѣ с. в. водъ составляетъ отъ 0.05 до 0.13 саж. Наибольшее возвышеніе приходится противъ мостовъ черезъ Отводъ и Гнилушу. Эти предѣлы указываютъ на незначительность размѣровъ дополнительнаго противъ бытовыхъ условий под-

Объемлющей подпорной кривой при проходѣ с. в. водъ.

тона мѣстности при с. в. водахъ на протяженіи всей желѣзнодорожной линіи на дельтѣ.

Колебанія размѣровъ возвышенія объемлющей кривой надъ бытовой водной поверхностью на протяженіи дельтоваго участка объясняется совокупнымъ вліяніемъ всѣхъ факторовъ: разными величинами частныхъ подпоровъ при отверстіяхъ соотвѣтственно съ различною мощностью русель водотоковъ, косиною пересѣченія потока и различнымъ взаимнымъ удаленіемъ отверстій.

Обезпеченность устойчивости мостовыхъ сооруженій при с. в. водахъ.

Вычисленныя въ вѣд. 67 на основаніи наблюденій величины скоростей въ мостовыхъ руслахъ передъ отверстіями и въ отверстіяхъ, совмѣстно съ изученіемъ измѣненій, происшедшихъ въ мостовыхъ руслахъ подъ вліяніемъ высокихъ водъ, даютъ основаніе для освѣщенія вопроса о степени устойчивости построенныхъ мостовыхъ сооруженій при наиболѣе тяжелыхъ условіяхъ, именно, при проходѣ с. в. водъ.

Дѣйствительныя измѣненія происшедшія въ руслахъ подъ дѣйствіемъ высокихъ водъ, и наблюденныя въ 1908 г. при проходѣ и послѣ спада водъ, представлены на чер. 77—98, 131—132 и 135—136 (Л. XXXI—II, LXI и LXIII).

Мосты на каменныхъ опорахъ.

Мостъ черезъ р. Бузанъ. Происшедшія при проходѣ высокихъ водъ измѣненія мостоваго русла показаны на чер. 78 (Л. XXXII), изъ котораго видно, что ни у одной опоры не произошелъ размывъ близкій къ глиняному пласту, какъ это было предположено въ проектномъ расчетѣ. Наибольшій размывъ произошелъ у опоръ №№ 3 и 4, гдѣ онъ достигъ глубины ниже бытоваго дна по оси моста 2.60 и 1.80 саж., а съ верховой стороны опоръ—2.85 и 2.15 саж.

Передъ опорами №№ 1, 3, 4 и 5 образовались отдѣльныя вымоины глубиною до 0.40 саж.; а непосредственно ниже всѣхъ опоръ образовались отложенія наносовъ въ видѣ бугровъ, высотой отъ 0.40 до 2.30 саж. Очертаніе дна возлѣ мостовыхъ опоръ ясно видно на чер. 131 (Л. LXI).

Сравненіе живыхъ сѣченій мостоваго русла при проходѣ с. в. водъ 1908 г. и послѣ ихъ спада показываетъ, что за время

спада водъ размывъ не увеличился у опоръ №№ 2, 3 и 6, между тѣмъ какъ у опоръ №№ 1, 4 и 5 размывъ еще продолжался, хотя и въ незначительной степени, именно, онъ возросъ не болѣе какъ на 0.60 саж.

Линія расчетнаго пропорціональнаго размыва превзойдена дѣйствительнымъ размывомъ у опоръ №№ 1, 3 и 4. *Это явленіе подтверждаетъ основательность проектнаго предположенія о болѣе глубокомъ размывѣ ложа рѣки, чѣмъ пропорціональный размывъ.*

Послѣ происшедшаго размыва устойчивость всѣхъ опоръ остается обезпеченной, такъ какъ линія допустимаго размыва при коэффициентѣ устойчивости 2 лежитъ, какъ отчетливо видно на чер. 78, значительно глубже линіи дѣйствительнаго размыва; и для опоръ №№ 1, 3 и 4, при которыхъ дѣйствительный размывъ перешелъ линію пропорціональнаго размыва, линія допустимаго размыва лежитъ ниже линіи дѣйствительнаго размыва на 5.3, 2.7 и 4.5 саж. Слѣдовательно, запасы устойчивости опоръ остаются весьма значительные, такъ что безъ опасенія можетъ быть допущено дальнѣйшее измѣненіе русла.

При проходѣ с. в. водъ, расходъ которыхъ ожидается даже менѣе принятаго въ проектномъ расчетѣ устойчивости опоръ на: $1700 - 1609 = 91$ куб. саж., долженъ произойти еще дополнительный размывъ; но онъ не можетъ выразиться въ значительной величинѣ, такъ какъ средняя глубина русла въ наблюденномъ сѣченіи передъ мостомъ возрастетъ при этомъ не болѣе, чѣмъ на 0.42 саж., какъ показываетъ слѣдующій расчетъ. Согласно вѣд. 67, средняя скорость u въ мостовомъ руслѣ при с. в. водахъ не превыситъ $0.71 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$; слѣдовательно, немного превзойдетъ уже наблюдавшуюся въ 1908 г. среднюю скорость $0.67 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (сводная вѣд. 28). Площадь живаго сѣченія при горизонтѣ с. в. водъ до дополнительнаго размыва, по даннымъ вѣд. 67:

$$\omega = \frac{2260 + 2280}{2} = 2270 \text{ кв. саж.}$$

Соотвѣтственная средняя глубина сѣченія шириною 322.9 саж.:

$$b_0 = \frac{2270}{322.9} = 7.03 \text{ саж.}$$

Полагая, что размывъ прекратится не ранѣе уменьшенія средней скорости до наблюденной величины $0.67 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, опредѣляемъ среднюю глубину сѣченія послѣ прохода с. в. водъ:

$$b'_0 = b_0 \frac{0.71}{0.67} = 7.03 \times 1.06 = 7.45 \text{ саж.}$$

Увеличеніе средней глубины:

$$b'_0 - b_0 = 7.45 - 7.03 = 0.42 \text{ саж.}$$

При этомъ наибольшая глубина дополнительнаго размыва по закону пропорціональности приближенно опредѣляется:

$$d_{\text{max.}} = [37.27 - 26.40] \cdot \left[\frac{7.45}{7.03} - 1 \right] = 0.65 \text{ саж.}$$

Въ случаѣ перераспредѣленія водъ, благодаря размыву русла въ сторону увеличенія расхода подъ Бузанскимъ мостомъ по сравненію съ результатами расчетной вѣдомости 67, возможенъ дополнительный размывъ русла противъ исчисленнаго выше; но, какъ выяснено въ гл. IX, такое увеличеніе расхода сопровождается уменьшеніемъ добавочнаго уклона и прекращеніемъ размыва.

Поэтому, рѣшительно нѣтъ основанія полагать, что когда-нибудь въ будущемъ размывъ подъ Бузанскимъ мостомъ дойдетъ до линіи допустимаго размыва съ коэффициентомъ 2; чѣмъ оправдывается проектное предположеніе о ненужности обсыпки опоръ камнемъ кромѣ опоры № 2. Тѣмъ не менѣе, для запаса на невѣроятный случай, слѣдуетъ имѣть возлѣ моста около 100 куб. саж. камня; однако-жъ загрузка его въ настоящее время была бы не только не нужной, но, какъ уже выяснено въ гл. IV, бесполезной.

Съ цѣлью всесторонняго разсмотрѣнія вопроса о размывѣ мостоваго русла на чер. 78 показано также измѣненіе русла въ періодъ прохода с. в. водъ въ сѣченія на 30 саж. выше оси моста. Изъ чертежа усматривается, что за время прохода высокихъ водъ сѣченіе подверглось незначительнымъ мѣстнымъ измѣненіямъ дна, не превосходящимъ 0.60 саж.; по сравненію же съ очертаніемъ дна въ бытовыхъ условіяхъ, сѣченіе оказалось размывымъ болѣе всего противъ опоръ №№ 3, 4 и 5; однако-жъ размывъ за 4 года ни въ одной точкѣ не превзошелъ 1.5 саж.

Возлѣ струенаправляющихъ дамбъ сѣченіе не подверглось измѣненію. Такимъ образомъ, изученіе русла въ 30 саж. выше оси моста подтверждаетъ невѣроятность значительнаго въ будущемъ измѣненія мостоваго русла.

Изъ того же чер. 78 видно, что возлѣ устоевъ и вдоль струенаправляющихъ дамбъ скорости теченія при высокихъ водахъ малы: maximum наблюдено $0.10—0.15 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$; благодаря чему участки русла вдоль струенаправляющихъ дамбъ и возлѣ устоевъ, а равно самыя струенаправляющія дамбы и проѣзды подъ мостомъ не только не подверглись подъ вліяніемъ высокихъ водъ размыву, (хотя назначенное проектомъ укрѣпленіе дна русла въ береговыхъ частяхъ не было исполнено до прохода водъ 1908 г.), но напротивъ, на нихъ произошло даже отложеніе наносовъ. Наблюдаемое разстройство каменныхъ укрѣпленій откосовъ струенаправляющихъ дамбъ произошло еще въ 1907 г. независимо отъ вліянія водъ, исключительно вслѣдствіе осадки землянаго полотна струенаправляющихъ дамбъ; при проходѣ же высокихъ водъ откосы дамбъ даже съ разстроеннымъ укрѣпленіемъ не подверглись никакому измѣненію. Эти результаты наблюденій убѣждаютъ въ безопасности устоевъ отъ подмыва и въ достаточности назначенныхъ укрѣпленій струенаправляющихъ дамбъ и проѣздовъ подъ мостомъ. Неисполненное еще по проекту и подлежащее исполненію укрѣпленіе участковъ русла возлѣ устоевъ придастъ имъ еще бѣльшій запасъ устойчивости; въ дополнительныхъ же укрѣпленіяхъ устоевъ надобности не встрѣчается.

Мостъ черезъ р. Рычу. Происшедшія измѣненія мостоваго русла показаны на чер. 83 (Л. XXXVI), изъ котораго видно, что безопасность оставленія на основаніи проектныхъ соображеній *) участковъ русла между опорами безъ укрѣпленія подтвердилась наблюденіями. Неукрѣпленное дно оказалось размывымъ въ незначительной степени; именно, наибольшій размывъ подъ мостомъ, по сравненію съ очертаніемъ ложа рѣки до постройки моста, выразился лишь въ 0.50 саж.; и притомъ, размывъ произошелъ только въ двухъ мѣстахъ живаго сѣченія

*) Гл. IV.

на небольшомъ протяженіи; а въ береговыхъ частяхъ произошло даже отложеніе наносовъ.

Въ сѣченіи на 4.4 саж. выше оси моста размывъ за время прохода с. в. водъ произошелъ также въ двухъ участкахъ соотвѣтственно размыву въ сѣченіи подъ мостомъ. Наибольшая величина размыва въ этомъ сѣченіи составляетъ только 0.38 саж. Возлѣ струенаправляющихъ дамбъ здѣсь также произошло отложеніе наносовъ. Такимъ образомъ, изученіе сѣченія въ 4.4 с. выше оси моста подтверждаетъ ничтожность происшедшаго измѣненія русла р. Рычи.

При проходѣ с. в. водъ нѣтъ основанія ожидать сколько-нибудь существеннаго дополнительнаго размыва русла, такъ какъ согласно вѣд. 67, средняя скорость въ наблюденномъ сѣченіи ожидается $0.38 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, а такая скорость уже наблюдалась при проходѣ водъ 1908 г., какъ видно изъ вѣд. 36. Если принять во вниманіе, что наблюденныя высшія скорости относились еще къ не размытому руслу (что подтверждается размѣрами площадей приведенныхъ въ вѣд. 36), и что послѣ размыва наибольшая скорость была $0.35 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, то дополнительный размывъ при проходѣ с. в. водъ все же долженъ быть малымъ, такъ какъ средняя глубина сѣченія возрастетъ лишь на 0.20 саж.:

$$b'_0 = b_0 \frac{0.38}{0.35} = \frac{147 + 142.3}{2 \times 66.4} \times \frac{0.38}{0.35} = \\ = 2.18 \times 1.09 = 2.38 \text{ саж.},$$

$$b'_0 - b_0 = 2.38 - 2.18 = 0.20 \text{ саж.}$$

При этомъ наибольшая глубина дополнительнаго размыва по закону пропорціональности приближенно опредѣляется:

$$d_{max.} = [36.90 - 33.95] \cdot \left[\frac{2.38}{2.18} - 1 \right] = 0.27 \text{ саж.}$$

Увеличеніе расхода въ отверстіи вслѣдствіе дополнительнаго размыва, какъ уже извѣстно, должно сопровождаться уменьшеніемъ добавочнаго уклона, и потому не можетъ вызвать значительное возрастаніе размыва противъ вышеисчисленнаго.

Вмѣстѣ съ тѣмъ изъ чер. 83 также видно, что при проходѣ с. в. водъ 1908 г. наибольшая скорость возлѣ береговыхъ опоръ была едва уловима, что подтверждаетъ достаточность примѣненнаго укрѣпленія береговыхъ опоръ и струенаправляющихъ дамбъ.

Изложенныя данныя приводятъ къ заключенію, что *какъ рѣчная, такъ и береговыя опоры Рычанскаго моста обезпечены отъ глубокаго размыва, а потому въ усиленіи укрѣпленій опоръ и русла въ настоящее время не представляется надобности*. Подлежитъ исполненію лишь недодѣлка, выразившаяся въ томъ, что возлѣ Астраханскаго устоя укрѣпленіе исполнено только вполонину проектной 10-ти саженой ширины.

Мостъ черезъ р. Болду. Произведенныя высокими водами измѣненія мостоваго русла показаны на чер. 79—82 и 132 (Л. XXXIII—XXXV и LXI). Изъ чер. 79 усматривается, что, по сравненію съ бытовымъ очертаніемъ дна до постройки линіи, болѣе значительный размывъ произошелъ между опорами №№ 1^a — 4 и 3^{bis} — 14, и отложеніе наносовъ произошло между опорами №№ 1^b — 1^c и 5 — 3^{bis}; возлѣ береговыхъ быковъ №№ 1^c и 14 также образовались отложенія наносовъ. Наибольшій размывъ противъ бытоваго дна достигъ у опоры № 3 по оси моста 1.35 саж. и непосредственно передъ опорой — 2.65 саж. Происшедшій размывъ русла ни въ одной точкѣ, какъ по оси моста, такъ и передъ опорами, не достигъ линіи расчетнаго пропорціональнаго размыва; и только у опоры № 3 размывъ подошелъ близко къ этой линіи. При этомъ, чертежи обнаруживаютъ, что по очертанію размывъ Волдинскаго моста, такъ же какъ и Бузанскаго, *не подчиняется закону пропорціональности*.

Если сравнить очертаніе дна при проходѣ водъ 1908 г. съ очертаніемъ въ моментъ опусканія опоръ (чер. 79), то оказывается, что для 7 рѣчныхъ опоръ, для которыхъ имѣются свѣдѣнія объ отмѣткахъ дна во время опусканія кессоновъ, наибольшій размывъ по оси моста за время существованія опоръ, т. е. въ результатѣ прохода двухъ высокихъ водъ 1907 и 1908 г.г. составилъ maximum 0.90 саж. у опоры № 2; у другихъ же опоръ происшедшій размывъ еще меньше; а у опоры № 3 по оси получился даже намывъ. Это послѣднее

обстоятельство обращает на себя особое вниманіе, и объясняется тѣмъ, что опора № 3 опускалась въ концѣ работъ, когда большинство опоръ было уже окончено, и когда рѣка была стѣснена помимо опоръ еще деревяннымъ рабочимъ мостомъ и тепляками; подъ вліяніемъ стѣсненія русло рѣки ко времени опусканія опоры № 3 оказалось уже размытымъ. Отсюда вытекаетъ, что работы по опусканію опоръ слѣдуетъ вообще начинать съ глубокой части русла, дабы избѣжать излитнаго затрудненія по прохожденію кессонами глубины воды до размытаго дна. Это замѣчаніе особенно важно для тѣхъ случаевъ, когда бытовая глубина рѣки велика и дальнѣйшее увеличеніе глубины можетъ создать серьезныя осложненія въ производствѣ работъ.

Возлѣ опоръ расположенныхъ въ руслѣ №№ 1^b, 1^a, 1, 2, 3, 4, 5 и 13 были наблюдаемы при проходѣ высокихъ водъ 1908 г. вымоины съ верховой стороны и отложенія наноса съ низовой стороны. Наиболѣе глубокія вымоины образовались передъ опорами №№ 1, 2, 3 и 4, въ предѣлахъ которыхъ вообще получился наибольшій размывъ, что указываетъ на болѣе интенсивную дѣятельность рѣки въ этой части русла. Передъ опорой № 4 была вымыта яма глубиною около 1.10 саж., передъ опорой № 3 — около 1.30 саж. Но наблюденія показали, что по мѣрѣ спада водъ эти глубокія ямы передъ опорами, находящимися въ болѣе глубокой части русла, постепенно заносились, и послѣ спада водъ глубина ямы передъ опорой № 4 оказалась около 0.55 саж. и передъ опорой № 3 — около 0.75 саж. Передъ опорами №№ 1 и 2 послѣ спада водъ были измѣрены ямы глубиною около 1.00 саж. Здѣсь произошло углубленіе ямъ за время спада водъ. Передъ прочими опорами ямы незначительны.

Высота бугровъ отложившихся непосредственно ниже опоръ болѣе или менѣе соотвѣтствуетъ глубинѣ ямъ передъ опорами. Наиболѣе высокіе бугры получились за опорами №№ 2 и 3; именно, за опорой № 2 во время прохода высокихъ водъ наблюдался бугоръ около 0.60 саж. и за опорой № 3 — около 1.00 саж. Послѣ спада водъ абсолютная высота означенныхъ бугровъ осталась почти безъ измѣненія. За прочими опорами бугры, за періодъ спада водъ, подверглись также небольшому измѣненію

въ обѣ стороны, за нѣкоторыми опорами повысились и за нѣкоторыми понизились.

Характеръ ямъ — вымоинъ передъ опорами, а также бугровъ за опорами виденъ на чер. 132 (Л. LXI).

При оцѣнкѣ размывовъ русла подъ мостомъ, наблюденныхъ въ 1908 г. слѣдуетъ принять во вниманіе, что живое сѣченіе, кромѣ постоянныхъ опоръ, было стѣснено еще сваями подмостей между опорами №№ 2—6 и 13—14, благодаря чему общее стѣсненіе живаго сѣченія достигало 12% всей площади, вмѣсто 8.5% отъ однихъ постоянныхъ опоръ.

Кромѣ того, вышеописанныя измѣненія русла подъ Болдинскимъ мостомъ нельзя разсматривать, какъ происшедшія при проходѣ высокихъ водъ одного 1908 г. Эти измѣненія являются результатомъ работы русла за весь періодъ сооруженія Астраханской линіи. Дѣйствительно, изъ чер. 80 усматривается, что за послѣдній передъ наблюденіями годъ, именно, съ сентября 1907 г. по іюль 1908 г., мостовое русло подверглось вообще незначительному измѣненію. Наибольшая величина размыва за годъ составляетъ около 0.75 саж. на Бол. Болдѣ въ пролетѣ №№ 13—14, который былъ стѣсненъ при проходѣ высокихъ водъ 1908 г. сваями подмостей; на Кривой же Болдѣ, гдѣ именно за 4 года произошло наибольшее измѣненіе русла, за послѣдній годъ очертаніе дна мало измѣнилось, несмотря на то, что воды 1908 г. были весьма высоки. Въ пролетахъ отъ Краснокутскаго устоя до № 2, а также на всемъ островѣ и въ пролетѣ № 3^{bis}—13 произошло по сравненію съ 1907 г. даже отложеніе наносовъ.

Съ цѣлью всесторонняго выясненія размыва мостоваго русла на чер. 81 и 82 показаны измѣненія, происшедшія съ 1903—4 г.г. по 1908 г. въ живыхъ сѣченіяхъ на 18 и 430 саж. выше оси моста. Изъ разсмотрѣнія сѣченія рѣки въ 18 саж. выше оси моста между струенаправляющими дамбами (чер. 81) видно, что измѣненіе сѣченія за 4-хъ лѣтній періодъ вообще незначительно, и характеръ измѣненія тотъ же, что и живаго сѣченія по оси моста (чер. 79); а именно, небольшое отложеніе наносовъ у струенаправляющихъ дамбъ, размывъ средней части русла Кр. Болды (наибольшая величина размыва получилась противъ

опоры № 2 и составляет лишь около 0.90 саж.), отложение наносовъ на правомъ берегу Кр. Болды (до 0.90 саж.) и на островѣ. Исключение представляетъ только р. Бол. Болда, въ руслѣ которой по всему сѣченію произошло отложение наносовъ. Въ общемъ площадь живаго сѣченія въ 18 саж. выше моста по сравненію съ бытовой площадью даже уменьшилась. Кромѣ того, не безынтересно отмѣтить, что въ первые же дни спада высокихъ водъ 1908 г. разсматриваемое живое сѣченіе, особенно въ руслѣ Бол. Болды, постепенно заносилось, и лишь противъ пролета № 4—5 въ р. Кр. Болдѣ произошелъ при спадѣ небольшой размывъ.

Выясненныя измѣненія мостоваго русла р. Болды обнаруживаютъ, что сѣченіе непосредственно вблизи моста подверглось противъ бытоваго состоянія совершенно незначительному измѣненію; равнымъ образомъ въ сѣченіи подъ мостомъ размывъ произошелъ небольшой, и даже отдѣльныя вымоины передъ опорами не достигли линіи расчетнаго пропорціональнаго размыва; притомъ, увеличеніе площади сѣченія подъ мостомъ произошло въ главной своей части уже въ первые годы послѣ сооруженія опоръ. Если къ этому присоединить, что обнаруженные измѣненія мостоваго русла явились въ результатѣ прохода двухъ высокихъ водъ, изъ которыхъ воды 1908 г. не достигали на р. Болдѣ наивысшаго бытоваго горизонта лишь на 0.06 саж., то *дальнѣйшее сколько-нибудь значительное измѣненіе русла въ глубину представляется невѣроятнымъ.*

Объ имѣющихся послѣ 1908 г. запасахъ устойчивости опоръ можно судить наглядно по чер. 79, на которомъ нанесена линія допустимаго размыва при коэффициентѣ устойчивости для всѣхъ опоръ—2, рассчитанная безъ вычета вѣса вытѣсняемой опорами воды. Относительно этой линіи даже всѣ ямы, образовавшіяся передъ опорами, лежатъ настолько высоко, что толщина слоя грунта, который можетъ быть еще размывъ до этой линіи у наиболѣе размывтой опоры № 3 составляетъ болѣе 3 саж. Если же считать размывъ отъ линіи дна по оси моста, то наименьшая глубина допустимаго размыва до линіи съ коэффициентомъ устойчивости 2 составляетъ для болѣе размывтыхъ опоръ

болѣе 4 саж., а для всего живаго сѣченія подѣ мостомъ не менѣе 2.25 саж.

По сравненію съ имѣющимися огромными запасами устойчивости представляется совершенно незначительнымъ возможное при проходѣ с. в. водѣ увеличеніе средней глубины наблюдаемаго сѣченія мостоваго русла, опредѣляемое ниже только въ 0.48 саж.; при этомъ не лишне обратить вниманіе, что наибольшій расходъ подѣ Болдинскимъ мостомъ, какъ видно изъ вѣд. 67, ожидается даже менѣе принятаго въ проектномъ расчетѣ устойчивости опоръ на: $700 - 572 = 128$ куб. саж.

По вѣд. 67 площадь живаго сѣченія мостоваго русла при горизонтѣ с. в. водѣ до дополнительнаго размыва:

$$\omega = \frac{1202.2 + 1213.4}{2} = \approx 1207 \text{ кв. саж.}$$

Соотвѣтственная средняя глубина сѣченія:

$$b_0 = \frac{1207}{453} = 2.67 \text{ саж.}$$

Ожидаемая при этомъ скорость въ мостовомъ руслѣ по вѣд. 67:

$$u = 0.47 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$$

Прекращенія дополнительнаго размыва слѣдуетъ ожидать, исходя изъ бытовыхъ данныхъ, при уменьшеніи средней скорости сѣченія до величины близкой къ $0.40 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$; дѣйствительно, расчетъ отверстія *) былъ составленъ на основаніи бытовыхъ данныхъ въ двухъ предположеніяхъ, при допущеніи средней скорости 0.37 и $0.44 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$; также и въ вѣд. 67 бытовая средняя скорость при горизонтѣ с. в. водѣ въ предѣлахъ отверстія опредѣлена въ $0.41 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$.

При средней скорости $0.40 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ средняя глубина размываго сѣченія составитъ:

$$b'_0 = b_0 \frac{0.47}{0.40} = 2.67 \times 1.18 = 3.15 \text{ саж.}$$

*) Глава IV.

Вѣроятное увеличеніе средней глубины наблюденнаго сѣченія при проходѣ с. в. водъ противъ глубины наблюденной въ 1908 г.:

$$3.15 - 2.67 = 0.48 \text{ саж.}$$

При этомъ наибольшая глубина дополнительнаго размыва подъ мостомъ приближенно, по закону пропорціональности, опредѣляется:

$$d_{max.} = [36.69 - 30.70] \cdot \left[\frac{3.15}{2.67} - 1 \right] = 1.08 \text{ саж.}$$

Перераспредѣленіе водъ вслѣдствіе размыва русла, выражающееся увеличеніемъ расхода въ отверстіи, какъ уже извѣстно, должно сопровождаться уменьшеніемъ добавочнаго уклона, и потому не можетъ вызвать значительное возрастаніе размыва противъ выше исчисленнаго.

Изъ изложеннаго вытекаетъ, что *въ настоящее время устойчивость опоръ Болдинскаго моста остается вполне обезпеченной; не только ни одна опора не требуетъ дополнительнаго укрѣпленія, но напротивъ, безъ опасенія можетъ быть допущено нѣкоторое дальнѣйшее измѣненіе русла.*

Въ отношеніи устойчивости береговыхъ опоръ слѣдуетъ присовокупить, что, какъ видно изъ чер. 79, возлѣ струенаправляющихъ дамбъ, а равно возлѣ крайнихъ опоръ № 1^о и № 14 высокія воды имѣютъ совершенно слабое теченіе, чѣмъ и объясняется то явленіе, что возлѣ дамбъ не только не произошло размыва русла, но даже появились наносы.

Направленіе струй высокихъ водъ, какъ видно изъ чер. 79 и 81, въ общемъ довольно правильно въ отношеніи мостовыхъ опоръ. Въ частности, въ лѣвобережномъ участкѣ р. Кр. Болды струи отклоняются въ сторону стрѣжня русла подъ вліяніемъ воды, сливающейся съ поймы на протяженіи будущей Волжской пристанной вѣтви; слѣдовательно, это явленіе временное и прекратится съ постройкой пристани. Въ правобережномъ участкѣ р. Кр. Болды подъ вліяніемъ всасывающаго дѣйствія нижележащей Прорвы струи отклоняются въ сторону послѣдней.

На островѣ, начиная отъ быка № 9, струи отклоняются въ сторону русла р. Бол. Болды; подъ вліяніемъ этого, хотя и слабого, теченія струи въ лѣвобережной части Бол. Болды отклоняются въ сторону ея праваго берега.

На чер. 82 нанесено сѣченіе на 430 саж. выше линіи перехода; изъ этого чертежа усматривается, что за 5-ти лѣтній періодъ подвергся размыву лѣвый берегъ р. Кр. Болды. То же явленіе происходитъ выше этого сѣченія до истока изъ р. Кор. Волги. Обнаруженный размывъ лѣваго берега Кр. Болды благопріятенъ для подлежащей сооруже́нію на этомъ протяженіи Волжской пристани, такъ какъ глубины достигнутыя вдоль набережной землечерпаніемъ не будутъ подвержены заносу. Наибольшая глубина размыва русла Кр. Болды въ рассматриваемомъ сѣченіи по стрежню составляетъ около 1.0 саж. На правомъ берегу р. Кр. Болды, а равно на островѣ произошло отложеніе наносовъ. Русло Бол. Болды подверглось незначительному измѣненію. Скорости въ рассматриваемомъ живомъ сѣченіи распредѣляются болѣе равномерно, чѣмъ въ сѣченіи ближайшемъ къ мосту; направленіе же струй на островѣ, въ отличіе отъ сѣченій ближайшихъ къ мосту, вѣрообразное съ отклоненіемъ въ стороны смежныхъ русель.

Въ дополненіе къ изложенному изслѣдованію устойчивости опоръ Болдинскаго моста остается еще обратить вниманіе на возможное въ будущемъ вліяніе на устойчивость островныхъ опоръ нижележащей Прорвы. Прорва, образовавшаяся въ позднѣйшій періодъ (чер. 101. Л. LII), представляетъ собою въ настоящее время уже глубокое русло, которое имѣетъ стремленіе къ дальнѣйшему развитію. Это объясняется тѣмъ, что Болдинскія воды отъ истока до Прорвы несутся преимущественно р. Кр. Болдою и при посредствѣ Прорвы распредѣляются между Бол. и Кр. Болдами. До Прорвы р. Бол. Болда мало дѣятельна и постепенно истокъ ея заносится. При современныхъ условіяхъ не подлежитъ сомнѣнію, что и въ дальнѣйшее время Прорва сохранитъ за собою значеніе въ распредѣленіи водъ и русло ея будетъ развиваться. При этомъ, вслѣдствіе

всасывающего дѣйствія Прорвы возможно перемѣщеніе стрежня р. Кр. Болды въ сторону острова, вслѣдствіе чего *могъ бы въ будущемъ произойти боковой размывъ острова со стороны р. Кр. Болды*. Эта возможность подтверждается наблюденнымъ отклоненіемъ струй р. Кр. Болды въ сторону Прорвы. Вмѣстѣ съ тѣмъ, если размывъ праваго берега Прорвы приметъ значительные размѣры, то оно будетъ угрожать островнымъ опорамъ съ низовой стороны. А потому, *во избѣжаніе подхода размытой Прорвы къ островнымъ опорамъ, необходимо будетъ укрѣпить правый ея берегъ*; но это работа будущаго, такъ какъ въ настоящее время островъ простирается еще на достаточное разстояніе ниже моста. Что же касается приближенія стрежня русла р. Кр. Болды къ острову, то для запаса на этотъ случай слѣдуетъ возлѣ моста имѣть около 50 куб. саж. камня; загрузка котораго, однако-жъ, въ настоящее время еще не вызывается необходимостью, такъ какъ берега острова пока заносятся, какъ видно изъ чер. 79—82 (Л. XXXIII—XXXV); *необходимо лишь постоянное наблюденіе за дальнѣйшимъ измѣненіемъ русла р. Кр. Болды*.

Мосты на деревянныхъ опорахъ.

Мостъ черезъ р. Ахтубу. Происшедшія подѣ дѣйствіемъ высокихъ водъ измѣненія мостоваго русла представлены на чер. 77 (Л. XXXI). Изъ этого чертежа усматривается, что небольшой размывъ русла, до 0.30 саж., произошелъ еще до окончанія устройства опоръ моста. Во время же прохода высокихъ водъ 1908 г. обнаруженъ у рѣчныхъ опоръ №№ 4—8, размывъ, значительно превзошедшій проектныя предположенія*), по которымъ предѣльный размывъ ожидался въ 0.60 саж. Наибольшій размывъ по оси моста произошелъ у опоры № 8, достигшій 1.85 саж. ниже того дна, которое было во время постройки опоры; причемъ былъ вымытъ и снесенъ оградительный свайный рядъ, забитый при этой опорѣ. У прочихъ опоръ произошли слѣдующіе наибольшіе размывы по оси моста, считая отъ дна во время постройки опоръ: у опоры № 7 — 1.0 саж., № 6 — 1.05 саж., № 5 — 0.95 саж. и № 4 — 1.3 саж.

*) Гл. IV.

Ввиду обнаруженного значительного размыва русла, была сдѣлана при высокихъ водахъ заброска камня съ верховой стороны болѣе размытыхъ опоръ, въ результатѣ чего размывъ у опоры № 8 былъ уменьшенъ на 1.15 саж., а у опоры № 7 заброска достигла горизонта бытового дна.

При береговыхъ опорахъ, а равно при всѣхъ прочихъ рѣчныхъ опорахъ сколько-нибудь существеннаго размыва при высокихъ водахъ обнаружено не было.

Изъ сравненія очертанія дна русла при проходѣ с. в. водъ 1908 г. и послѣ ихъ спада усматривается, что за время спада водъ возлѣ размытыхъ опоръ №№ 4, 5 и 6, произошло отложеніе наносовъ, именно, у опоры № 4 на высоту 0.25 саж., у опоры № 5 на 0.50 саж. и у опоры № 6 на 0.60 саж. Возлѣ опоръ №№ 7 и 8 промѣры обнаружили небольшое пониженіе каменной заброски, исполненной при высокихъ водахъ. Это пониженіе, составляющее по оси опоры № 7—0.40 саж. и по оси опоры № 8—0.20 саж., объясняется не размывомъ, котораго не было въ періодъ спада водъ, а частью обваломъ заброшеннаго камня и частью невозможностью при разновременныхъ промѣрахъ каждый разъ промѣрять тѣ же точки при неправильномъ очертаніи поверхности заброски.

Такимъ образомъ, послѣ прохода высокихъ водъ 1908 г. глубины возлѣ размытыхъ опоръ по сравненію съ тѣми глубинами, которыя были во время ихъ устройства, остались увеличенными у опоры № 4 на 1.0 саж., у опоры № 5 на 0.45 саж., у опоры № 6 на 0.25 саж., у опоры № 7 на 0.30 саж. и у опоры № 8 на 0.90 саж.

Промѣры послѣ спада водъ у береговыхъ опоръ, а равно у опоръ №№ 1, 2, 3, 9, 11, 12, 13, 14 и 16 обнаружили, что, по сравненію съ очертаніемъ дна во время ихъ постройки, послѣ спада водъ обнаружилось отложеніе наносовъ на высоту въ среднемъ около 0.15 саж. Возлѣ опоры № 10 имѣется небольшой размывъ въ 0.30 саж., и возлѣ опоры № 15 осталась та же глубина, которая была при постройкѣ опоры.

При изученіи описаннаго размыва мостоваго русла слѣдуетъ имѣть въ виду, что оно является результатомъ прохода высокихъ водъ не одного только 1908 г., но трехъ лѣтъ: 1906 —

1908 г.г., такъ какъ мостъ и прилегающее желѣзнодорожное полотно были окончены до прохода высокихъ водъ 1906 г.

Общее очертаніе происшедшаго размыва русла подъ мостомъ показываетъ, что *и въ этомъ случаѣ также не оправдывается законъ пропорціональности размыва.*

Съ цѣлью всесторонняго разсмотрѣнія вопроса о размывѣ мостоваго русла на чер. 77 показано также измѣненіе русла въ періодъ прохода с. в. водъ въ сѣченіи на 21 саж. выше оси моста. Изъ чертежа усматривается, что въ теченіи прохода высокихъ водъ сѣченіе подверглось незначительнымъ мѣстнымъ измѣненіямъ, не превосходящимъ 0.3 саж. По сравненію же съ очертаніемъ дна въ бытовыхъ условіяхъ при постройкѣ моста (въ 1905 г.), сѣченіе оказалось размытымъ въ лѣвой части русла; причемъ только противъ пролета № 3—4 размывъ достигъ 1.2 саж.; на прочемъ же протяженіи русла размывъ за 3 года не великъ: противъ пролета № 4—5 около 0.50 саж., противъ пролетовъ № 5—6 и № 8—9 около 0.40 саж., противъ пролетовъ № 6—8 около 0.30 саж.; а на остальномъ протяженіи русла размывъ или совсѣмъ не произошелъ, или составляетъ не болѣе 0.20 саж. Измѣренія, произведенныя въ томъ же сѣченіи послѣ спада водъ, показали, что размытая высокими водами лѣвая часть русла противъ пролета № 3—4 была опять занесена до бытовой глубины. Такимъ образомъ, въ результатѣ прохода 3-хъ высокихъ водъ сѣченіе передъ мостомъ подверглось незначительному измѣненію.

Изъ сѣченія въ 8 саж. ниже оси моста (чер. 77) видно, что размывъ произошелъ преимущественно въ части русла расположенной противъ опоръ №№ 3—9; причемъ, наибольшая глубина размыва за 3-хъ лѣтній періодъ составляетъ не болѣе 0.90 саж.

Возлѣ струенаправляющихъ дамбъ размыва русла не произошло; омывающія ихъ струи имѣютъ при высокихъ водахъ малыя скорости. Равнымъ образомъ самыя струенаправляющія дамбы не подверглись подъ вліяніемъ высокихъ водъ поврежденію.

Что касается направленія струй въ мостовомъ руслѣ, то подъ вліяніемъ рѣзкаго поворота русла въ одной верстѣ выше моста

(планъ 3. Л. III), подходящія къ мосту воды имѣютъ небольшое отклоненіе отъ нормали къ мосту въ сторону Астрахани. Съ Краснокутской стороны, благодаря сливу въ русло поемныхъ водъ, наблюденъ (чер. 99. Л. III) выше моста перебой рѣчныхъ струй, подъ вліяніемъ котораго образовались возлѣ Краснокутской верховой струенаправляющей дамбы водовороты, послужившіе причиною отмѣченнаго уже размыва русла въ наблюденномъ сѣченіи выше моста противъ пролета № 3—4 на глубину до 1.20 саж. Для уничтоженія этихъ водоворотовъ въ силу заключеній главы XI назначено (чер. 32. Л. XVII) удлиненіе верховой Краснокутской дамбы съ приданіемъ ей развернутой формы; благодаря чему наблюденное сѣченіе выше моста будетъ предохранено отъ размыва. Вмѣстѣ съ тѣмъ удлиненіе дамбы будетъ имѣть послѣдствіемъ болѣе равномерное распределеніе расхода и скоростей въ крайнихъ Краснокутскихъ пролетахъ моста.

Направленіе теченія подъ самымъ мостомъ, а равно ниже моста въ общемъ исполнѣ нормальное.

Что касается причинъ сосредоточенія размыва на части ширины русла между опорами № 3—№ 9, то таковыми являются слѣдующія: встрѣча русловыхъ струй съ поемными противъ опоръ № 3—№ 4, увеличенныя скорости теченія между опорами № 5—№ 9, и наконецъ, защита правой половины русла глинистымъ прослойкомъ.

Исслѣдованіе сѣченій выше и ниже моста показываетъ, что размывъ русла подъ мостомъ представляетъ собою мѣстную яму, имѣющую небольшое распространеніе вдоль русла, какъ это наглядно подтверждается продольными профилями, снятыми вдоль русла между опорами №№ 5—6, 7—8, 8—9 и 11—12 (чер. 135. Л. LXIII). Этотъ чертежъ также показываетъ, что *размывъ подъ мостомъ въ пролетахъ между опорами увеличивается къ линіи низоваго конца опоръ, гдѣ и достигаетъ максимума*. На основаніи поперечныхъ и продольныхъ профилей Ахтубинскаго русла есть основаніе предполагать, что дальнѣйшій размывъ русла подъ мостомъ между опорами №№ 3—9 едва ли въ будущемъ получилъ бы то развитіе, которое ниже исчислено въ

1.27 саж. противъ наблюдаемаго размыва, въ томъ случаѣ, если бы русло было оставлено безъ укрѣпленія. Въ дѣйствительности же, пока существуютъ деревянные опоры дальнѣйшій размывъ не можетъ быть вовсе допущенъ и русло должно быть надежно закрѣплено.

Согласно вѣд. 67 площадь наблюдаемаго живаго сѣченія при горизонтѣ с. в. водъ до дополнительнаго размыва составляетъ:

$$\omega = \frac{643.2 + 644}{2} = \approx 643 \text{ кв. саж.}$$

Соотвѣтственная средняя глубина сѣченія шириною 206 саж.:

$$b_0 = \frac{643}{206} = 3.12 \text{ саж.}$$

Средняя скорость наблюдаемая въ сѣченіи при проходѣ высокихъ водъ 1908 г. — $0.48 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$.

Вычисленная въ вѣд. 67 средняя скорость наблюдаемаго сѣченія при проходѣ с. в. водъ — $0.58 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$.

Средняя глубина послѣ размыва съ уменьшеніемъ средней скорости до $0.48 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ составитъ:

$$b'_0 = b_0 \frac{0.58}{0.48} = 3.12 \times 1.21 = 3.78 \text{ саж.}$$

Увеличеніе средней глубины:

$$b'_0 - b_0 = 3.78 - 3.12 = 0.66 \text{ саж.}$$

Наибольшая глубина дополнительнаго размыва подъ мостомъ приближенно опредѣляется:

$$d_{max.} = [37.30 - 31.25] \cdot [1.21 - 1] = 1.27 \text{ саж.}$$

Но, какъ уже замѣчено, дополнительный размывъ по конструкціи опоръ не можетъ быть допущенъ и долженъ быть предупрежденъ надлежащими укрѣпленіями.

Прежде чѣмъ перейти къ выясненію мѣръ дополнительнаго укрѣпленія размываго мостоваго русла, остановимся на причинѣ преувеличеннаго размыва по сравненію съ проектнымъ предположеніемъ.

Расчетный размывъ былъ опредѣленъ, считая наибольшій расходъ подъ мостомъ въ 233 куб. саж. Этотъ расходъ былъ введенъ въ расчетъ на основаніи бытовыхъ наблюденій 1904 г., принятыхъ за исходную данность, по которымъ наибольшій бытовой расходъ р. Ахтубы опредѣлился въ 233 куб. саж., при расходѣ лѣвой поймы (между р. Ахтубою и песками) равнымъ нулю. Приведеннымъ же въ настоящей главѣ повѣрочнымъ расчетомъ съ примѣненіемъ „нормальной кривой“ (вѣд. 67 и чер. 138. Л. LXIV) установлено, что наибольшій бытовой расходъ р. Ахтубы значительно превышалъ 233 куб. саж., и достигалъ 310 куб. саж. Слѣдовательно, въ расчетъ размыва русла былъ введенъ бытовой расходъ преуменьшенный на:

$$\frac{(310 - 233) \times 100}{233} = 33\%.$$

Это—первая и главная причина невѣрности расчетнаго размыва. Вторая причина заключается въ томъ, что къ бытовому расходу не были прибавлены расходы прилегающихъ къ мосту участковъ поймы. Осторожность расчета требовала принять расходъ сѣверной (лѣвой) поймы за нѣкоторую положительную величину, примѣнительно къ результатамъ бытовыхъ наблюденій 1903 г., а не считать его равнымъ нулю, согласно результатамъ наблюденій 1904 г.; сверхъ того слѣдовало считать направленной въ Ахтубинскій мостъ часть расхода правой Ахтуба-Бузанской поймы. Въ общемъ расчетный расходъ Ахтубинскаго моста былъ преуменьшенъ на:

$$\frac{(361 - 233) \times 100}{233} = 55\%,$$

такъ какъ при проходѣ с. в. водъ расходъ слѣдуетъ ожидать, согласно вѣд. 67, до 361 куб. саж.

Преуменьшенность принятаго въ проектномъ расчетѣ наибольшаго расхода черезъ Ахтубинскій мостъ подтверждается еще слѣдующимъ сопоставленіемъ. Выше обращено уже вниманіе, что приведенныя въ вѣд. 67 отношенія $\frac{S'}{Q}$ указываютъ на то, что для большихъ рѣкъ, представляющихъ водотоки большой мощности, добавочный расходъ въ отверстіи по сравненію съ бытовымъ расходомъ составляетъ небольшой процентъ, въ

противуположность малымъ водотокамъ, именно, для р. Ахтубы—16⁰/₀, для р. Бузана—10⁰/₀ и для р. Болды—17⁰/₀, въ то время какъ для малыхъ водотоковъ добавочный расходъ составляетъ отъ 52 до 1337⁰/₀. Если же бытовой расходъ р. Ахтубы былъ бы 233 куб. саж., вмѣсто 310 куб. саж., то добавочный расходъ отверстія вмѣсто 16⁰/₀ составилъ бы 55⁰/₀, и р. Ахтуба рѣзко выдѣлилась бы изъ ряда водотоковъ большой мощности и вошла бы въ разрядъ малыхъ водотоковъ. Такое исключеніе было бы не естественно, и оно противорѣчило бы мѣстнымъ условіямъ, такъ какъ р. Ахтуба пересѣчена въ самомъ началѣ дельтоваго участка и работаетъ подѣ сравнительно меньшимъ частнымъ подпоромъ; затѣмъ, Краснокутская ея пойма имѣетъ небольшіе размѣры съ малымъ расходомъ, который по наблюденіямъ 1904 г. былъ приравненъ нулю, а по наблюденіямъ 1903 г. былъ вычисленъ maximum въ 30 куб. саж., съ Астраханской же поймы вода подавалась въ р. Ахтубу, какъ установлено наблюденіями 1908 г., изъ небольшого района, главная же масса водъ Астраханской поймы направляется въ р. Бузанъ. Слѣдовательно, было бы невѣроятнымъ, если бы расходъ р. Ахтубы послѣ сооруженія линіи выразился въ крупной величинѣ по сравненію съ соотвѣтственнымъ бытовымъ расходомъ рѣки.

Переходя къ выясненію дополнительныхъ укрѣпленій опоръ и дна мостоваго русла, слѣдуетъ остановиться на томъ рѣшеніи, что при происшедшемъ размывѣ было бы недостаточно ограничиться каменными отсыпями вокругъ опоръ, даже съ увеличеніемъ ихъ размѣровъ противъ первоначальныхъ отсыпей, такъ какъ вмѣстѣ съ дальнѣйшимъ размывомъ русла возможно сползаніе каменныхъ отсыпей; а потому, для обезпеченія устойчивости опоръ необходимо вмѣстѣ съ отсыпями вокругъ опоръ укрѣпить мостовое русло на всю ширину.

Ожидаемая средняя скорость подѣ мостомъ при проходѣ с. в. водъ, при очертаніи размытаго русла снятомъ въ 1908 г., опредѣлена въ вѣд. 67 въ 0.67 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$. Послѣ стѣсненія живаго сѣченія проектируемымъ дополнительнымъ закрѣпленіемъ не

болѣе, какъ на 6%, вычисленная скорость должна увеличиться до:

$$1.06 \times 0.67 = 0.71 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$$

При этой скорости достаточно укрѣпленіе одиночной мостовой; но, такъ какъ русло покрыто водою, то необходимо его укрѣпить каменной заброской. При назначеніи протяженія укрѣпленія слѣдуетъ принять во вниманіе, что по наблюденіямъ 1908 г. размывъ произошелъ не по всему руслу, а распространился лишь на полосу шириною около 75 саж. между опорами № 3—№ 9. Поэтому, полосу въ 75 саж. слѣдуетъ закрѣпить болѣе тщательно, именно, каменной заброской толщиною не менѣе 0.20 саж. на длину не менѣе какъ по 8 саж. выше и ниже оси моста, а всего на длину 16 саж.; остальную же часть русла достаточно закрѣпить каменной заброской слоемъ не менѣе 0.12 саж., на длину вдоль русла 10 саж. по 5 саж. выше и ниже оси моста. Для описаннаго укрѣпленія русла потребуется камня: $(75 \times 16 \times 0.20) + (125 \times 10 \times 0.12) = 390$ куб. саж.

Независимо отъ общаго укрѣпленія русла должны быть особо обсыпаны еще нѣкоторыя опоры, расположенныя въ размытой части русла, по нижеслѣдующимъ соображеніямъ.

Послѣ происшедшаго размыва сваи опоры № 4 остались въ грунтѣ въ среднемъ только около 1.5 саж.; причемъ изъ 32 свай этой опоры 6 свай остались въ грунтѣ менѣе 1.00 саж., и въ томъ числѣ одна сидитъ въ грунтѣ только 0.75 саж. Вслѣдствіе этого опору № 4 слѣдуетъ обсыпать камнемъ на высоту не менѣе 0.75 саж., а за вычетомъ укрѣпленія русла слоемъ 0.20 саж. — на высоту 0.55 саж.; на что потребуется камня, считая засыпку между сваями и саженную берму вокругъ опоры, около 15 куб. саж.

Сваи опоръ №№ 5—7 остались въ грунтѣ послѣ спада водъ въ среднемъ отъ 2.10 до 3.30 саж. и minimum 1.75 саж. Дополнительной обсыпки эти опоры не требуютъ.

Сваи опоры № 8 послѣ спада водъ остались въ грунтѣ въ среднемъ только 1.64 саж.; причемъ 11 свай изъ общаго числа 64 свай остались въ грунтѣ менѣе 1.00 саж., и въ томъ числѣ

одна свая осталась въ грунтѣ только 0.64 саж. Необходимо эту опору обсыпать на высоту не менѣе 0.75 саж., а за вычетомъ общаго слоя укрѣпленія въ 0.20 саж.—на высоту 0.55 саж.; для чего потребуется камня около 20 куб. саж.

Такимъ образомъ, *съ дополнительной обсыпкой нуждаются опоры №№ 4 и 8; на что потребуется камня: $15 + 20 = 35$ куб. саж.*

Общій объемъ камня потребнаго для укрѣпленія русла и опоръ Ахтубинскаго моста составляетъ: $390 + 35 = 425$ куб. саж.

Засыпку опоръ удобнѣе производить со льда, укрѣпленіе же всего русла—вслѣдъ за вскрытіемъ рѣки при низкой водѣ.

Что касается вымытаго около опоры № 8 оградительнаго свайнаго ряда, то онъ не требуетъ возобновленія, такъ какъ благодаря происшедшему размыву каменная заброска доведенная до отмѣтки 33.00 не можетъ уже угрожать проходящимъ судамъ.

Въ заключеніе изслѣдованія устойчивости Ахтубинскаго моста остается рассмотреть *вопросъ о перестройкѣ его на постоянный.* Ввиду выяснившейся наблюденіями дѣятельной водопропускной работы моста нынѣ не можетъ быть колебаній въ необходимости сохранить при перестройкѣ имѣющееся отверстіе въ 200 саж., соотвѣтственно съ очертаніемъ русла рѣки.

Береговыя опоры постоянного моста можно заложить на свайномъ основаніи, такъ какъ около береговъ, согласно результатамъ наблюденій, нельзя опасаться размыва. Что же касается рѣчныхъ опоръ, то ихъ слѣдуетъ основать на кессонахъ или на опускаемыхъ колодцахъ, которые въ данномъ случаѣ, соотвѣтственно роду грунта, вполне примѣнимы.

Для опредѣленія глубины заложения рѣчныхъ опоръ слѣдуетъ принять во вниманіе тотъ результатъ вышеприведеннаго расчета, что, если даже игнорировать дополнительное укрѣпленіе мостоваго русла, то наибольшій добавочный размывъ опредѣляется въ 1.27 саж. Отмѣтка наиболѣе глубокой точки размываго русла:

$$31.25 - 1.27 = 29.98 \sim 30.00.$$

Такимъ образомъ, *если при расчетѣ рѣчныхъ опоръ постоянного Ахтубинскаго моста принять отмѣтку наиболее размыва*

точки дна 30.00, то, ввиду непринятого въ расчетъ дополнительнаго укрѣпленія русла, это съ запасомъ обезпечитъ устойчивость опоръ. На случай перемѣщенія стрежня русла указанная отметка размыва 30.00 должна быть примѣнена ко всемъ рѣчнымъ опорамъ.

Мостъ черезъ ер. Гнилушу. Описаніе глубокаго размыва русла. Этому мосту отведено особое мѣсто въ гл. XI при изученіи вліянія на мостовыя сооруженія неправильностей теченія въ мостовыхъ руслахъ. Въ настоящей главѣ мостъ черезъ ер. Гнилушу также выдѣленъ вслѣдствіе происшедшаго глубокаго размыва и особыхъ мѣръ принятыхъ для обезпеченія его устойчивости.

На ер. Гнилушѣ на ряду съ прочими малыми протоками былъ назначенъ деревянный мостъ; отверстіе его по дну 30 саж., длина по верху 40 саж. и высота, считая отъ подошвы рельса до наиболѣе глубокой точки естественнаго русла, 4 саж. Мостъ подкосной системы, состоялъ въ руслѣ изъ 11-ти трехсаженныхъ пролетовъ и въ тѣлѣ насыпи изъ 2-хъ двухсаженныхъ, 2-хъ односаженныхъ и 2-хъ полусаженныхъ пролетовъ.

Площадь живаго сѣченія между струенаправляющими дамбами послѣ разработки русла должна была составить при самыхъ высокихъ водахъ 68 кв. саж.

Укрѣпленіе мостоваго русла было проектомъ назначено на всю его ширину и на длину 7 саж. выше оси моста и 13 саж. ниже; причемъ части русла покрытыя меженнею водою было назначено укрѣпить каменной отсыпью слоемъ не менѣе 0.20 саж.; участки же внѣ воды—двойною мостовою на шибнѣ. При такомъ укрѣпленіи безопасна скорость по дну до 10 $\frac{\text{фт.}}{\text{сек.}}$.

Рабочая площадь живаго сѣченія подъ мостомъ послѣ исполненія укрѣпленія русла и за вычетомъ сѣщенія сваями должна была составить 49 кв. саж. (вѣд. 16).

Таковы были проектныя назначенія.

Въ дѣйствительности же, до прохода высокихъ водъ 1908 г. укрѣпленіе не было исполнено согласно проекта. Укрѣплена была часть русла съ Краснокутской стороны на ширину, считая по оси моста, около 13 саж. и на длину около 6 саж. выше оси моста и около 12 саж. ниже оси моста. Съ Астраханской стороны была укрѣплена узкая и короткая полоса русла на ширину,

считая по оси моста, около 3 саж. *Все же меженное русло на ширину около 14 саж. оставалось совсемъ безъ укрѣпленія.* Общая площадь фактически укрѣпленнаго русла составляла около 275 кв. саж., вмѣсто назначенныхъ по проекту 600 кв. саж. Кромѣ того, оставался неукрѣпленнымъ откосъ головной части Астраханской низовой дамбы, падавшій въ меженное русло ерика.

Эти недодѣлки, остававшіяся до приступа къ наблюденіямъ выс. водъ неизвѣстными, имѣли тяжелыя послѣдствія, едва не приведшія къ полному разрушенію моста. Обнаружены они были и разслѣдованы лишь тогда, когда при первомъ промѣрѣ мостоваго русла, 24 Мая, былъ опредѣленъ глубокій размывъ русла. Въ это время горизонтъ воды подходилъ къ наивысшему.

Результаты наблюденій высокихъ водъ при мостѣ черезъ ер. Гнилушу представлены на чер. 93—96 (Л. XLVI—XLIX), на которыхъ нанесены 12 сѣченій мостоваго русла, снятыхъ при проходѣ высокихъ водъ и послѣ спада ихъ. Шесть сѣченій сдѣлано выше оси моста, одно по оси, четыре ниже оси моста и одно по стрежню русла. Расположеніе сѣченій показано на планѣ, на чер. 96. Эти сѣченія съ достаточной наглядностью выясняютъ происшедшій размывъ.

Наибольшій размывъ подъ мостомъ произошелъ у опоры № 5. Точная глубина наибольшаго размыва у этой опоры осталась неизвѣстной, такъ какъ вслѣдъ за обнаруженіемъ размыва русла неотложно было приступлено къ заброскѣ опоръ камнемъ для сохраненія моста; но можно довольно близко опредѣлить глубину размыва у опоры № 5 по тому, что послѣ первоначальной, въ общемъ незначительной, засыпки камня размывъ составлялъ 2.9 саж., считая ниже самой глубокой точки дна бытоваго русла. Наибольшая глубина воды подъ мостомъ достигала въ это время 5.3 саж. Такъ какъ въ началѣ заброски значительная часть камня относилась теченіемъ ниже моста, то приведенныя глубины весьма близки къ дѣйствительнымъ наибольшимъ глубинамъ.

По мѣрѣ размыва русла подъ мостомъ, размывъ распространялся вверхъ и внизъ отъ моста. Въ результатъ размытымъ оказалось большое протяженіе русла, достигшее въ общемъ около 100 саж., считая вдоль его оси. Какъ видно изъ сводной

вѣд. 35 *), площадь размываго сѣченія въ 7 саж. выше моста превысила при высокихъ водахъ 100 кв. саж., при наибольшей глубинѣ 5.3 саж. и при средней глубинѣ 2.8 саж. Посте-

ВѢДОМОСТЬ 70

измѣненій площади живаго сѣченія ер. Гнилуши въ 7 саж. выше моста въ періодъ спада водъ.

ВРЕМЯ ИЗМѢРЕНІЙ.		Отмѣтки горизонта воды.	Площадь живаго сѣченія, считая ниже отмѣтки меженнаго горизонта 35.04 кв. саж.	Глубины, считая ниже отмѣтки меженнаго горизонта въ саж.		Размывъ площади живаго сѣченія по сравненію съ бытовымъ меженнымъ сѣченіемъ въ ‰
				наибольш.	среднія.	
1904 г.	Бытов.сѣченіе.	35.04	5	0.55	0.33	—
Размытое сѣченіе измѣренное при проходѣ высокихъ водъ 1908 г.	28 Мая	36.88	42	3.5	1.4	740
	10 Юня. . . .	36.745	48	3.2	1.6	860
	23 Юля. . . .	35.30	52	3.6	1.6	940

пенность развитія размыва этого живаго сѣченія видна изъ вѣд. 70; откуда усматривается, что меженное русло въ сѣченіи на 7 саж. выше моста увеличилось послѣ размыва въ 10 разъ.

Что касается распространенія размыва по ширинѣ русла, то на него оказало сильное вліяніе частичное укрѣпленіе русла, исполненное до прохода высокихъ водъ. Несмотря на то, что наибольшія скорости приходились, именно, между опорами № 7—11, гдѣ было сдѣлано укрѣпленіе, эта часть русла не поддавалась дѣйствію теченія, размывъ подъ мостомъ ограничивался лишь неукрѣпленной частью русла; и только когда, по

*) Томъ I, стр. 202—203.

мѣръ углубленія размыва, камень по краямъ укрѣпленнаго участка сваливался въ размытую часть, размывъ получалъ возможность постепенно расширяться. Но въ результатѣ все же мостовыя опоры №№ 9—12 со стороны Краснаго Кута и №№ 1 и 2 со стороны Астрахани, благодаря сдѣланному до прохода высокихъ водъ частичному укрѣпленію русла, остались не размытыми. Вліяніе укрѣпленныхъ полосъ русла сказалось также и по обѣ стороны моста, такъ какъ размывъ долженъ былъ обходить укрѣпленныя полосы, которыя держались въ видѣ выступающихъ мысовъ; вслѣдствіе чего наиболѣе глубокій размывъ въ частяхъ русла выше и ниже моста поддерживался также противъ опоръ №№ 4—6, подобно сѣченію подъ мостомъ. Вліяніе укрѣпленныхъ полосъ русла на размывъ видно изъ сѣченій на чер. 93, а также изъ сѣченій №№ IX, X и XI на чер. 94; особенно же наглядно видно это вліяніе изъ плана размытаго русла въ горизонталяхъ, показаннаго на чер. 97 (Л. L). Приведенныя данныя указываютъ, что случай съ мостовымъ русломъ ер. Гнилуши подтвердилъ достаточность назначеннаго проектомъ укрѣпленія руселъ; если бы оно было исполнено, то размыва не могло бы произойти.

Постепенность расширенія размыва выясняется сѣченіями №№ II, III, IV, VII и VIII; изъ нихъ усматривается, что размывъ въ ширину продолжался и въ періодъ спада высокихъ водъ.

Нѣкоторое мѣстное уширеніе размыва съ верховой стороны произошло передъ струенаправляющими дамбами подъ вліяніемъ водъ стекавшихъ въ мостовое русло съ поймъ. Эти боковыя вымоины, показанныя на чер. 97, распространились въ ширину, въ глубину же онѣ не превзошли 1 саж., считая отъ горизонта меженныхъ водъ.

О скоростяхъ, подъ вліяніемъ которыхъ произошелъ размывъ мостоваго русла, можно судить по слѣдующимъ даннымъ наблюдений (вѣд. 35). Наибольшая средняя скорость на вертикаляхъ, наблюдаемая за все время прохода высокихъ водъ въ живомъ сѣченіи въ 7 саж. выше моста составляла $0.85 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$. Наибольшая поверхностная скорость въ томъ же сѣченіи составляла $0.80 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$. Наибольшая поверхностная скорость подъ мостомъ до-

стигала $1.10 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$. Наибольшая средняя скорость въ сѣченіи передъ мостомъ наблюдалась $0.66 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$; соотвѣтственная средняя скорость подъ мостомъ составляла около:

$$\frac{0.66}{0.9 \left[\frac{100-15^*)}{100} \right]} = 0.86 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}} \approx 6 \frac{\text{фут.}}{\text{сек.}}$$

Наибольшую скорость по дну подъ мостомъ слѣдуетъ считать нѣсколько болѣе средней скорости, т. е. болѣе $6 \frac{\text{фут.}}{\text{сек.}}$, основываясь на наблюденіяхъ вертушкою въ первый періодъ спада воды 4 и 5 Іюня, которыя указали, что наибольшая скорость по дну въ руслѣ ер. Гнилуши непосредственно передъ мостомъ не только достигала средней скорости сѣченія, но даже превышала ее; именно, въ то время какъ среднія скорости въ сѣченіяхъ въ 3-хъ и 8-ми саж. передъ мостомъ опредѣлились въ: 0.45, 0.46 и $0.37 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, наибольшія скорости вблизи дна были наблюдены: 0.54, 0.59 и $0.50 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$. Эти большія скорости вблизи дна были наблюдены на вертикаляхъ совсѣмъ не размытыхъ или мало размытыхъ; на большихъ же глубинахъ скорости по дну въ то же время наблюдались 0.14— $0.45 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$. Исходя изъ приведенныхъ результатовъ непосредственныхъ наблюдений, вѣроятную наибольшую скорость по дну подъ мостомъ при проходѣ воды 1908 г. слѣдуетъ считать около $7 \frac{\text{фут.}}{\text{сек.}}$. Во всякомъ случаѣ она далеко не достигала размѣра допустимаго для русла укрѣпленного каменной одеждой толщиной 0.20 саж.; но, разумѣется, скорости въ 6— $7 \frac{\text{фут.}}{\text{сек.}}$ не могъ выдержать неукрѣпленный песчано-илистый грунтъ дна русла.

Заканчивая описаніе происшедшаго размыва мостоваго русла ер. Гнилуши слѣдуетъ замѣтить, что нѣкоторый размывъ русла произошелъ еще въ 1907 г., на что указываетъ то выясненное разслѣдованіемъ обстоятельство, что у головы Астраханской низовой дамбы, сооруженной весной 1908 г., откосъ которой падалъ въ меженнее русло, была при сооруженіи значительная глубина меженной воды, далеко превосходившая бытовую глубину русла.

*) Стѣсненіе мостоваго русла опорами въ размытомъ руслѣ составляло около 15%.

Переходимъ къ описанію *деформации моста и мѣръ приня-
тыхъ для его сохраненія*. Вслѣдствіе размыва русла опоры моста
№№ 3—8 оказались подмытыми. Болѣе опасно подмыты были
опоры №№ 4—6, расположенныя въ меженномъ руслѣ ерика;
наиболѣе подмытой оказалась опора № 5. О степени размыва
опоръ №№ 4—6 можно судить по сѣченіямъ на чер. 93 (Л. XLVI),
въ которомъ въ масштабѣ показанъ низъ забитыхъ свай, а также
по вѣд. 71, въ которой показана глубина свай въ грунтѣ въ
размытомъ руслѣ послѣ первоначальной трехдневной заброски
камня.

ВѢДОМОСТЬ 71

глубинъ свай въ грунтѣ послѣ размыва опоръ №№ 4, 5
и 6 на ер. Гнилушѣ.

№ свай.	Глубина свай въ грунтѣ:		№ свай.	Глубина свай въ грунтѣ:		№ свай.	Глубина свай въ грунтѣ:		ПРИМѢЧАНІЕ.
	при пост- ройкѣ моста.	въ размѣт. руслѣ послѣ первоначал. трехднев. за- броски камн.		при пост- ройкѣ моста.	въ размѣт. руслѣ послѣ первоначал. трехднев. за- броски камн.		при пост- ройкѣ моста.	въ размѣт. руслѣ послѣ первоначал. трехднев. за- броски камн.	
Опора № 4.			Опора № 5.			Опора № 6.			Нумера ко- ренныхъ свай напечатаны жирнымъ шрифтомъ.
145	3.60	0.80	129	3.51	0.30	113	3.60	1.00	
146	3.45	0.70	130	3.30	0.15	114	3.22	0.50	
147	3.81	1.20	131	3.67	0.50	115	3.58	1.10	
148	3.71	1.00	132	3.57	0.45	116	3.66	1.10	
149	3.72	1.20	133	3.29	0.15	117	3.61	1.20	
150	3.66	1.10	134	3.36	0.20	118	3.65	1.20	
151	3.00	0.50	135	3.25	0.10	119	3.30	0.90	
152	3.65	1.25	136	3.73	1.30	120	3.50	1.30	
153	3.60	0.80	137	3.67	0.55	121	3.30	0.70	
154	3.05	0.30	138	3.35	0.20	122	3.16	0.50	
155	3.66	0.90	139	3.12	—0.10	123	3.33	0.90	
156	3.62	0.90	140	3.50	0.30	124	3.26	0.80	
157	3.66	1.10	141	3.46	0.30	125	3.31	0.90	
158	3.67	1.10	142	3.44	0.30	126	3.51	1.10	
159	3.67	1.20	143	3.40	0.20	127	3.30	0.90	
160	3.60	1.20	144	3.50	1.20	128	3.70	1.50	

Изъ этой вѣдомости усматривается, что въ опорѣ № 4 менѣе глубоко забитыя подкосныя сваи оставались въ грунтѣ послѣ трехдневной заброски камнемъ лишь 0.30—0.50 саж., и коренныя сваи оставались въ грунтѣ отъ 0.90 до 1.20 саж. Въ опорѣ № 5 менѣе глубоко забитыя подкосныя сваи оставались въ грунтѣ послѣ трехдневной заброски камнемъ лишь 0.10—0.20 саж., и коренныя сваи оставались въ грунтѣ не болѣе 0.50 саж.; а одна коренная свая (№ 139) была совсѣмъ навѣсу. Въ опорѣ № 6 менѣе глубоко забитыя подкосныя сваи оставались въ грунтѣ лишь около 0.50—0.70 саж., и коренныя сваи оставались въ грунтѣ отъ 0.80 до 1.20 саж.

Хотя въ началѣ заброски значительная часть камня относилась теченіемъ ниже моста, но все же часть его ложилась также возлѣ опоръ въ предѣлахъ моста. А потому, до заброски камня сваи оставались въ грунтѣ еще менѣе указанныхъ глубинъ, чѣмъ и объясняется сильное дрожаніе подмытыхъ опоръ до обсыпки ихъ камнемъ.

Вслѣдствіе происшедшаго размыва мостъ подвергся деформации въ предѣлахъ опоръ №№ 4—6; причемъ наибольшій прогибъ получился надъ опорой № 5 въ 0.03 саж. и наибольшій наклонъ моста въ низовую сторону получился противъ той же опоры на 0.04 саж. Искривленіе рельсоваго пути на мостѣ показано на чер. 95 (Л. XLVIII).

Къ заброскѣ размытыхъ мостовыхъ опоръ камнемъ было приступлено тотчасъ по обнаруженіи глубокаго размыва русла (24 Мая). Камень сбрасывался сверху моста передъ подкосными сваями. Подъ вліяніемъ теченія камень ложился ниже верховыхъ подкосныхъ свай и даже частью ниже моста; но все же въ результатъ большой объемъ камня легъ подъ мостомъ, какъ это видно изъ сѣченій №№ II—IV (чер. 93) и XII (чер. 95), а также изъ поперечнаго разрѣза на чер. 98 (Л. LI). Заброска производилась между опорами №№ 2—7 въ теченіи 2-хъ недѣль. Всего забросано было около 80 куб. саж. Эта заброска имѣла результатомъ сохраненіе моста, который безъ нея несомнѣнно былъ бы вынесенъ водой. Подъ вліяніемъ каменной заброски уже на второй день дрожаніе моста прекратилось, размывъ русла выше моста въ глубину не продолжался, и распространялся

нѣсколько лишь въ ширину. Съ низовой же стороны за періодъ спада водъ произошло небольшое углубленіе русла (сѣченіе № XII чер. 95), чтѣ объясняется дѣйствіемъ водоворота (донной волны) за каменнымъ валомъ.

Для исправленія моста и закрѣпленія мостоваго русла былъ составленъ проектъ представленный на чер. 98 и заключавшійся въ слѣдующемъ. Мостъ удлинень въ сторону Астрахани на 2 трехсаженныхъ пролета, а всего на 6 саж. съ цѣлью отдаленія Астраханскихъ дамбъ отъ размытаго русла и ради выправленія струй въ мостовомъ руслѣ, какъ это подробно было объяснено въ гл. XI. Послѣ удлиненія общее отверстіе моста по дну получилось 36 саж. и длина его 46 саж.

Сваи размытыхъ опоръ отъ № 3 по № 8 подлежали добивкѣ до отказа. При этомъ было предвидѣно, что нѣсколько свай болѣе глубоко размытой опоры № 5 не поддадутся забивкѣ, такъ какъ подъ нихъ могъ попасть камень заброски, и въ нихъ могъ произойти загибъ нижняго ихъ конца ниже наростка (свай съ наросткомъ было около 50%). На этотъ случай предвидѣлась забивка новыхъ свай рядомъ. Наконецъ, при невозможности забивки дополнительныхъ свай нахожденіе одной — двухъ свай, которыя нельзя было бы добить (въ дѣйствительности оказалось возможнымъ добить всѣ сваи) или замѣнить, не могло составить серьезнаго препятствія къ исправленію моста, такъ какъ размытыя опоры, въ которыхъ по проекту въ отношеніи напряженія свай имѣется большой запасъ прочности, подлежали, независимо отъ добивки свай, солидной дополнительной обсыпкѣ камнемъ. Эта обсыпка показанная на чер. 98 была необходима для предупрежденія продольнаго изгиба свай, и въ значительной степени должна замѣнить собою вымытый грунтъ и предохранить даже недобитыя сваи отъ сколько-нибудь существенной просадки. Верхъ каменной отсыпи проектированъ на 0.80 саж. ниже горизонта меженнихъ водъ; ширина отсыпи по верху назначена не менѣе 7 саж. съ тѣмъ, чтобы отъ крайнихъ подкосныхъ свай до ея бровки оставалось не менѣе 1 саж. Откосы каменной отсыпи не круче $1:1\frac{1}{2}$.

Для предохраненія мостоваго русла отъ дальнѣйшаго размыва назначено его укрѣпленіе камнемъ на всю ширину и на длину по 15 саж. выше и ниже оси моста; причемъ въ предѣлахъ залитыхъ меженней водою укрѣпленіе проектировано каменной заброской, а внѣ предѣловъ меженней воды—двойной мостовой на щебнѣ. Толщина каменной заброски должна быть 0.20—0.30 саж. Полоса каменнаго укрѣпленія ограничена съ обѣихъ сторонъ каменными рисбермами.

Подожвы струенаправляющихъ дамбъ назначено защитить укрѣпленною полосою шириною не менѣе 3 саж. По поводу этой полосы слѣдуетъ замѣтить, что благодаря крутизнѣ береговъ размытаго русла надо ожидать еще ихъ оползня, особенно праваго берега; *послѣ чего соответственная часть русла своевременно вновь должна быть закрѣплена каменной одеждой.*

Наконецъ, для предупрежденія образованія размывовъ передъ головами верховыхъ дамбъ водою, сливательною въ русло съ поймъ, назначены передъ головами дамбъ небольшія каменные отсыпи вдоль береговъ меженнаго русла.

Описанный проектъ переустройства и закрѣпленія поврежденнаго моста можетъ быть резюмированъ слѣдующимъ образомъ: *удлиненіе моста на 6 саж. съ цѣлью удаленія отъ размытаго русла Астраханскихъ струенаправляющихъ дамбъ; при этомъ достигается также болѣе центральное расположеніе моста въ отношеніи трехъ низовыхъ руселъ: Бобра, Гнилуши и Прямого; добивка до отказа свай размытыхъ опоръ; обсыпка ихъ каменной отсыпью до отмытки 34.20, при ширинѣ отсыпи по верху не менѣе 7 саж. и при откосахъ не круче 1:1½; укрѣпленіе каменной одеждой мостоваго русла на всю ширину и на длину по 15 саж. выше и ниже оси моста, при толщинѣ каменной заброски не менѣе 0.20—0.30 саж.; наконецъ, устройство вдоль подошвъ струенаправляющихъ дамбъ каменныхъ полосъ шириною не менѣе 3 саж.*

Вышеописанныя работы включены въ чер. 97 и 98, изъ сравненія которыхъ съ чер. 95 и 96 явствуетъ потребность проектныхъ назначеній.

Общій объемъ камня потребнаго для исполненія проектированныхъ работъ составляетъ около 375 куб. саж. *).

Послѣ приведенія въ исполненіе увеличенія отверстія моста и укрѣпленія его русла камнемъ согласно чер. 97 и 98 площадь живаго сѣченія отверстія при горизонтѣ с. в. водъ уменьшилась до 90 кв. саж., вмѣсто 104 кв. саж. вычисленныхъ въ вѣд. 67. Вслѣдствіе уменьшенія площади ω водопропускная способность отверстія уменьшается, и потому, согласно изслѣдованію гл. IX, въ переустроенномъ отверстіи черезъ ер. Гнилушу расходъ S' не можетъ при проходѣ с. в. водъ дойти до 81.7 куб. саж., вычисленныхъ въ вѣд. 67 для размытаго и не переустроеннаго русла. Часть расхода должна распредѣлиться между прочими отверстіями. Но, если для запаса расчета принять въ переустроенномъ руслѣ тотъ же расходъ, то тѣмъ не менѣе средняя скорость подъ мостомъ, вычисленная въ вѣд. 67 въ $1.02 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, опредѣляется какъ maximum:

$$u' = \frac{1.02 \times 104}{90} = 1.18 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$$

Эта преувеличенная скорость могла бы быть безопасно допущена при назначенномъ укрѣпленіи.

Въ дѣйствительности средняя скорость подъ закрѣпленнымъ мостомъ при проходѣ с. в. водъ должна получить значеніе между вычисленными въ двухъ предположеніяхъ величинами: 1.02 и 1.18, именно около:

$$\frac{1.02 + 1.18}{2} = 1.10 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$$

Укрѣпленіе мостоваго русла, исполненное по чер. 97 и 98, окажется необходимымъ и послѣ перестройки деревяннаго моста на постоянный, такъ какъ укрѣпленіе будетъ охранять опоры

*) Описанный проектъ переустройства моста приведенъ въ исполненіе въ 1909 г.; причемъ въ дѣйствительности потребовалось укрѣпительныхъ работъ меньше, такъ какъ размытое русло по обѣ стороны моста частью было засыпано послѣ спада водъ землею; земляная засыпка подлежала защитѣ каменной одеждой слоемъ не менѣе 0.40 саж.

и дамбы отъ подмыва. Благодаря этому, устои возможно будетъ построить на свайномъ основаніи по типу устоевъ Рычанскаго моста.

9 мостовъ черезъ малые водотоки: Банный, Безымянный, Проточный, Узк. Есаулъ, Крив. Бузь, Болтайка, Угланъ, Утюжкинъ и Отводъ. Происшедшія измѣненія въ перечисленныхъ мостовыхъ руслахъ представлены на чер. 84—92 (Л. XXXVII—XLV). Наблюденія обнаружили, что въ мостовыхъ руслахъ оставались ко времени прохода высокихъ водъ недодѣлки по укрѣпленію; но глубокой размывъ ни въ одномъ изъ рассматриваемыхъ руселъ не произошелъ, благодаря валамъ камня, лежавшаго поперекъ руселъ и предназначавшагося для укрѣпительныхъ работъ, а также отчасти благодаря тому, что въ тѣхъ участкахъ, гдѣ происходили размывы, производилась при проходѣ водъ заброска камня. Въ участкахъ руселъ, гдѣ ко времени прохода высокихъ водъ укрѣпленіе было окончено въ соответствии съ проектными назначеніями, никакихъ измѣненій не произошло.

Недодѣлки по укрѣпленію руселъ перечислены въ вѣд. 72, въ которой приведено также описаніе происшедшаго размыва руселъ.

Изъ этой вѣдомости усматривается, что въ 4-хъ случаяхъ изъ 9-ти (Крив. Бузь, Болтайка, Проточный и Узк. Есаулъ) недодѣлки по укрѣпленію были болѣе значительны, что тотчасъ же и сказалось на образованіи размывовъ.

Всѣ указанная въ вѣд. 72 недодѣлки подлежатъ исполненію, такъ какъ свайныя опоры не допускаютъ сколько-нибудь значительнаго размыва. Каменная одежда должна быть закончена на всей площади руселъ, согласно проектнымъ назначеніямъ (Л. XVIII); причемъ толщина одежды должна быть не менѣе 0.20 саж. Особая плотность каменной одежды въ мостовыхъ руслахъ требуется на полосѣ на 5 саж. выше и ниже осей мостовъ.

При проходѣ с. в. водъ средняя скорость подъ рассматриваемыми мостами ожидается, какъ видно изъ вѣд. 67, отъ 0.60 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (Отводъ) до 0.95 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (ер. Болтайка). Эти скорости далеко не достигаютъ предѣла (10 $\frac{\text{фут.}}{\text{сек.}}$) допустимаго для проектнаго укрѣп-

ВѢДОМОСТЬ 72.

Описаніе состоянія мостовыхъ русель 9-ти деревянныхъ мостовъ при проходѣ высокихъ водъ 1908 г.

№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ВОДОТОКОВЪ.	Недостѣлки по укрѣпленію мостовыхъ русель ко времени прохода выс. водъ.	Описаніе происшедшаго размыва русель.
1	ер. Ванный. (Чер. 84. Л. XXXVII).	Подъ мостомъ укрѣпленіе окончено. Неукрѣпленъ участокъ русла площадью около 65 кв. саж. возлѣ головы Астраханской низовой струенарявляющей дамбы. Кромѣ того, толщина каменной одежды не вездѣ полная, проектная.	Размыва не произошло.
2	ер. Безымянный. (Чер. 85. Л. XXXVIII).	Незначительныя недостѣлки какъ по площади укрѣпленія, такъ и по толщинѣ одежды.	Сколько-нибудь существеннаго размыва русла не произошло.
3	ер. Проточный. (Чер. 86. Л. XXXIX).	Укрѣпленіе русла не окончено на значительной части площади; камень, предназначен. для укрѣпленія, лежалъ въ валахъ по всей ширинѣ русла вдоль моста по обѣ его стороны; внѣ валовъ укрѣпленія мало.	Каменные валы предохранили русло отъ размыва; но они служили причиной водоворотовъ, подъ влияніемъ которыхъ подъ мостомъ между опорами №№ 7—11 произошелъ небольшой размывъ на глубину до 0.20 саж.
4	ер. Узг. Есаулъ. (Чер. 87. Л. XL).	Укрѣпленіе исполнено лишь отдѣльными участками. Камень, предназначенный для укрѣпленія, лежалъ въ валахъ по всей ширинѣ русла по обѣ стороны моста.	Каменные валы и отдѣльные укрѣпл. участки русла способствовали предохраненію его отъ размыва, для предупрежденія котораго производилась заброска камня у мостовыхъ опоръ во время прохода высокихъ водъ. Въ результатѣ размывъ произошелъ незначительный, не глубже 0.25 саж.
5	р. Криг. Бузъ. (Чер. 88. Л. XLI).	Участки русла, прилегающіе къ струенарявляющимъ дамбамъ, оставались неукрѣпленными; въ средней части русла на ширину около 20 саж. укрѣпленіе было сдѣлано на половину. Въ прочихъ	Для сужденія о величинѣ происшедшаго размыва русла слѣдуетъ принять во вниманіе, что, какъ видно изъ чер. 88 и 136 (Л. LXIII), нѣкоторый размывъ произошелъ еще въ 1906 г. ко времени пост-

№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ВОДОТОКОВЪ.	Недостѣлки по укрѣпленію мостовыхъ руселъ ко вре- мени прохода выс. водъ.	Описаніе происшедшаго размыва руселъ.
		участкахъ, гдѣ исполнена каменная одежда, имѣлись также недостѣлки по тол- щинѣ одежды.	<p>ройки мостовыхъ опоръ. По сравненію съ быто- вымъ очертаніемъ русла размывъ къ осени 1906 г. достигъ по срединѣ русла 0.40 саж. Не подлежитъ сомнѣнію, что при прохо- дѣ высокихъ водъ 1907 г., когда русло оставалось еще неукрѣпленнымъ, а при- лежащія участки поймы были въ значительной части пересыпаны полот- номъ, произошелъ даль- нѣйшій размывъ; но раз- мѣры его не могутъ быть установлены, такъ какъ промѣры въ 1907 г. не были сдѣланы. Такимъ об- разомъ, на основаніи про- мѣровъ 1908 г. можно су- дить объ измѣненіи очер- танія русла въ результатѣ прохода двухъ высокихъ водъ: 1907 и 1908 г.г.; при- чемъ до высокихъ водъ 1908 г. было исполнено укрѣпленіе мостового рус- ла съ указанными въ пре- дыдущей графѣ недостѣл- ками.</p> <p>По сравненію съ очер- таніемъ русла 1906 г., при проходѣ с. в. водъ 1908 г. русло подъ мостомъ ока- залось размытымъ тахі- тимъ на 0.80 саж. у опоры № 18 и на 0.65 саж. у опоры № 17; у опоръ № 9 и 11—16 размывъ составилъ около 0.50 саж., у опоръ № 4, 8, 10 и 19 около 0.30 саж.; у прочихъ опоръ размыва за два года почти не произошло. Если раз- сматривать измѣненіе рус- ла только за періодъ с. в. горизонтовъ 1908 г., то болѣе значительный раз- мывъ за этотъ періодъ произошелъ подъ мостомъ только при опорахъ № 17 и 18, около 0.40 саж.</p> <p>Выше моста, въ 3.5 саж. отъ его оси, въ результатѣ прохода двухъ высокихъ</p>

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ВОДОТОКОВЪ.	Недодѣлки по укрѣпленію мостовыхъ руселъ ко времени прохода выс. водъ.	Описаніе происшедшаго размыва руселъ.
			<p>водъ 1907 и 1908 г.г. размывъ получился въ средней части русла до 0.40 с.</p> <p>Непосредственно ниже моста по линіи крайнихъ подкосныхъ свай наибольшій размывъ, по сравненію съ очертаніемъ дна 1906 г., получился противъ опоръ №№ 17 и 18—0.60 с. и у опоръ №№ 4, 9—11, 13, 15, 16 и 19 отъ 0.20 до 0.45 саж.</p> <p>Въ 5 саж. ниже оси моста по сравненію съ очертаніемъ дна 1906 г. наибольшій размывъ получился также противъ опоръ №№ 17 и 18 около 0.50 с. и противъ опоръ №№ 2—4, 13—16 и 19 около 0.20—0.30 саж.</p> <p>Такимъ образомъ, во всѣхъ сѣченіяхъ большому размыву подверглась полоса противъ опоръ №№ 17—18 и средняя часть русла.</p> <p>По обнаруженіи размыва русла при проходѣ высокихъ водъ 1908 г. была произведена каменная заброска мостовыхъ опоръ въ тѣхъ участкахъ, гдѣ укрѣпленіе не было окончено, благодаря чему дальнѣйшій размывъ былъ предупрежденъ.</p> <p>Слѣдуетъ отмѣтить, что происшедшій небольшой размывъ русла по срединѣ моста имѣетъ тотъ благоприятный результатъ, что глубина рѣки послѣ укрѣпленія русла останется не менѣе бытовой глубины, вопреки опасеніямъ мѣстныхъ жителей, заявившихъ при приступѣ къ укрѣпительнымъ работамъ претензію на уменьшеніе бытовой глубины рѣки.</p> <p>Въ заключеніе описанія размыва въ руслѣ р.Кр.Буза остается обратить вниманіе на то, что сѣченія вдоль русла рѣки между</p>

№ по по- рядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ВОДОТОКОВЪ.	Недостѣлки по укрѣпленію мостовыхъ руселъ ко вре- мени прохода выс. водъ.	Описаніе происшедшаго размыва руселъ.
6	ер. Волтайка. (Чер. 89. Л. XLII).	Укрѣпленіе мостоваго русла было исполнено лишь частью, именно: съ верховой стороны укрѣпленъ участок русла отъ Астраханской струенаправляющей дамбы до середины русла; а далѣе въ сторону Краснокутской струенаправляющей дамбы лежалъ въ руслѣ лишь каменный валь, недоходившій до Краснокутской верховой дамбы приблизительно на 4 саж. Съ низовой стороны моста большая часть площади русла оставалась неукрѣпленной.	опорами (чер. 136. Л. LXIII) обнаруживаютъ (въ трехъ случаяхъ изъ четырехъ) то же явленіе, какое наблюденно на р. Ахтубѣ; именно, <i>увеличеніе размыва подъ мостомъ къ линіи низовой конца опоръ</i> . Каменный валь, насыпанный выше моста и глинистый грунтъ ложа рѣки сыграли существенную роль въ предохраненіи русла отъ глубокаго размыва, для борьбы съ которыми также производилась обсыпка мостовыхъ опоръ камнемъ во время прохода высокихъ водъ. Въ результатѣ размывъ выразился въ нижеелѣдующихъ размѣрахъ. Не доходя верховой Краснокутской дамбы, благодаря перерыву каменнаго вала, дно русла возлѣ этой дамбы размывто на 0.40 саж.; размывъ произошелъ вдоль всей длины Краснокутскихъ дамбъ и сопровождался поврежденіемъ ихъ откосовъ. Подъ мостомъ и въ сбѣженіи ближайшемъ къ мосту съ низовой стороны размывъ получился около 0.30 саж.
7	ер. Угланъ. (Чер. 90. Л. XLIII).	Незначительныя недостатки по толщинѣ одежды.	Размыва мостоваго русла не произошло.
8	ер. Утюкиня. (Чер. 91. Л. XLIV).		
9	Отводъ 3-хъ ерик.овъ. (Чер. 92. Л. XLV).		

ленія руселъ; и потому, для обезпеченія устойчивости разсматриваемыхъ 9-ти мостовъ дополнительныхъ сверхъ проекта укрѣпленій руселъ не требуется.

Общій объемъ камня потребнаго для исполненія недодѣлокъ по укрѣпленію 9-ти разсматриваемыхъ мостовъ составляетъ около 400 куб. саж. *).

Назначеніе отверстій
постоянныхъ мостовъ
взамѣнъ II времен-
ныхъ.

Въ предыдущей статьѣ изслѣдованіемъ устойчивости мостовыхъ сооруженій установлено, что подъ всѣми 10-ю деревянными мостами скорости не достигаютъ допустимыхъ по укрѣпленію; и потому, съ точки зрѣнія устойчивости сооруженій было бы возможно общее уменьшеніе отверстій при перестройкѣ деревянныхъ мостовъ на постоянные. Но не прибѣгая къ этой мѣрѣ въ интересахъ болѣе спокойной работы отверстій, слѣдуетъ обратить вниманіе лишь на тѣ мосты, которые выделяются слабой интенсивностью водопропускной работы.

Гидравлическіе элементы наблюденные въ мостовыхъ руслахъ при проходѣ высокихъ водъ 1908 г. (вѣд. 29-35, 37-39) и вычисленные въ вѣд. 67 для предѣльнаго случая прохода с. в. водъ обнаруживаютъ, что сравнительно слабо работающими деревянными мостами являются три моста южнаго, обособленнаго участка: Угланъ, Утюпкинь и Отводъ, и два сѣверныхъ моста: Банный и Безымянный. Ожидаемая средняя скорости подъ перечисленными мостами при проходѣ с. в. водъ будутъ находиться въ предѣлахъ отъ 0.60 до $0.71 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, въ среднемъ для 5-ти мостовъ около $0.65 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$; въ то время какъ для остальныхъ 5-ти деревянныхъ мостовъ: черезъ Проточный, Узк. Есаулъ, Крив. Бузь, Болтайку и Гнилушу средняя скорости подъ мостами въ предѣльномъ случаѣ будутъ отъ 0.72 до $1.02 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, а съ принятіемъ во вниманіе **) засыпки размытаго русла ер. Гнилуши даже до $1.10 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, въ среднемъ для 5-ти мостовъ около $0.90 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$.

Большая разница между средними скоростями для двухъ категорій мостовъ— 0.65 и $0.90 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ —указываетъ на преувеличенность отверстій первой категоріи и на умѣстность сокращенія ихъ при перестройкѣ временныхъ мостовъ на постоянные.

*) Выясненныя въ настоящей статьѣ мѣры обезпеченія устойчивости дельтовыхъ сооруженій приводились въ исполненіе въ 1909 и 1910 г.г.

**) Стр. 278 настоящаго тома.

Однако-жъ, изъ первой категоріи слѣдуетъ выдѣлить мостъ черезъ ер. Безымянный, такъ какъ среднія скорости въ мостовомъ руслѣ этого ерика въ результатахъ наблюдений преуменьшены тѣмъ, что часть отверстія не принимала участія въ пропускѣ водъ вслѣдствіе большого водоворота вдоль Краснокутскихъ дамбъ (чер. 85 и 103. Л. XXXVIII и LIII), въ то время какъ остальная часть живаго сѣченія по интенсивности водопропускной работы была равносильна съ ериками Проточнымъ и Узк. Есауломъ (чер. 86 и 87. Л. XXXIX и XL). Послѣ переустройства струенаправляющихъ дамбъ неправильность протеканія водъ въ мостовомъ руслѣ ер. Безымяннаго будетъ устранена, и тогда все живое сѣченіе будетъ участвовать въ пропускѣ водъ и средняя скорость протеканія повысится.

Такимъ образомъ, уменьшеніе отверстій назначается лишь для 4-хъ мостовъ первой категоріи, именно, для моста черезъ Банный на 10 саж., черезъ Угланъ на 5 саж., Утюпкинь на 15 саж. и Отводъ на 20 саж. *Общее уменьшеніе отверстій 4-хъ мостовъ составляетъ 50 саж.* Наименьшій размѣръ отверстія сохраненъ въ 25 саж.

Назначенное уменьшеніе отверстій основано на нижеслѣдующемъ расчетѣ. Какъ извѣстно изъ гл. IX, при уменьшеніи групповыхъ отверстій должно произойти сокращеніе расхода въ уменьшенныхъ отверстіяхъ и возрастаніе расхода въ прочихъ отверстіяхъ группы. Но, для запаса расчета скоростей въ уменьшенныхъ отверстіяхъ примемъ прежніе расходы, исчисленные по вѣд. 67.

Среднія скорости подъ перестроенными мостами опредѣляются по формулѣ:

$$u'' = \frac{0.90}{0.95} \cdot \frac{(100-15)}{(100-8)} \cdot \frac{l' \cdot u'}{l} = 0.875 \frac{l' \cdot u'}{l} \dots (93),$$

гдѣ u' — средняя скорость подъ временнымъ мостомъ,

l' и l — отверстія (ширины по дну мостоваго русла) временнаго и замѣняющаго его постояннаго моста.

При составленіи формулы (93) принято во вниманіе, что стѣсненіе живаго сѣченія постоянными опорами составитъ 8% противъ 15%, имѣвшихъ мѣсто при свайныхъ опорахъ; въ

дѣйствительности же стѣсненіе постоянными опорами составить отъ 0 до 8⁰/₀ и для всѣхъ 10-ти мостовъ въ среднемъ только 4.7⁰/₀. Кромѣ того, въ формулѣ (93) учтено то обстоятельство, что коэффициентъ расхода μ при постоянныхъ мостахъ, благодаря увеличенію пролетовъ съ 3-хъ саж. не менѣе какъ до 12 саж., долженъ, согласно заключенію гл. XII, возрасти по сравненію съ временными мостами, и во всякомъ случаѣ отношеніе соответственныхъ коэффициентовъ можетъ быть принято не менѣе $\frac{0.95}{0.90}$; въ дѣйствительности же это отношеніе должно выразиться въ болѣе значительной величинѣ.

Такимъ образомъ, въ формулу (93) введены запасы по величинѣ расхода, по стѣсненію живаго сѣченія, и по коэффициенту расхода; а потому, скорости u'' по этой формулѣ опредѣляются преувеличенныя.

Для мостовъ, отверстія которыхъ, считая по дну мостоваго русла, останутся при перестройкѣ на постоянные не измѣненными, формула (93) принимаетъ видъ:

$$u'' = \psi \cdot 0.875 u' \quad \dots \dots \dots (94);$$

гдѣ ψ — коэффициентъ увеличенія скорости, который долженъ быть введенъ, ввиду того что, согласно указаніямъ гл. IX, при уменьшеніи отверстій группы происходитъ возрастаніе подпора, сопровождающееся увеличеніемъ приращенія скорости во всѣхъ отверстіяхъ группы.

Уменьшеніе расхода въ 4-хъ уменьшенныхъ отверстіяхъ послѣ перестройки мостовъ на постоянные должно быть во всякомъ случаѣ менѣе исчисленнаго пропорціонально уменьшенію отверстій, т. е. менѣе:

$$\begin{aligned} \sum S' \frac{l' - l''}{l'} &= 50.0 \frac{40 - 30}{40} + 31.1 \frac{30 - 25}{30} + 41.8 \frac{50 - 35}{50} + \\ &+ 79.4 \frac{100 - 80}{100} = 46.1 \text{ куб. саж.}; \end{aligned}$$

гдѣ S' — расходы вычисленные въ вѣд. 67,

l' — построенныя отверстія,

$(l' - l'')$ — назначенное уменьшеніе отверстія.

Но, если для запаса принять полностью это уменьшение расхода въ 4-хъ отверстіяхъ, то увеличеніе расхода всѣхъ остальныхъ отверстій группы составить по даннымъ вѣд. 67 не болѣе:

$$\frac{46,1 \cdot 100}{[3125 - (50,0 + 31,1 + 41,8 + 79,4)]} = 1,6\%.$$

Несмотря на введенный въ расчетъ запасъ, процентъ увеличенія расхода отверстій оставляемыхъ безъ измѣненія получился весьма малымъ; и онъ еще долженъ быть уменьшенъ, такъ какъ часть расхода уменьшенныхъ отверстій попадетъ также въ Кор. Волгу. Тѣмъ не менѣе для запаса, на случай болѣе неблагоприятнаго перераспредѣленія водъ, принято $\psi = 1,05$. При этомъ формула (94) принимаетъ видъ:

$$u'' = 0,919 u' \dots \dots \dots (95).$$

Выраженіе (95) показываетъ, что подъ мостами, отверстія которыхъ останутся при перестройкѣ безъ измѣненія, скорости должны уменьшиться приблизительно на 8%.

Результаты расчета по формуламъ (93) и (95) наибольшихъ среднихъ скоростей подъ мостами, послѣ перестройки временныхъ мостовъ на постоянные, приведены въ вѣд. 73; причемъ, ввиду введенныхъ запасовъ, слѣдуетъ ожидать дѣйствительныя скорости меньше приведенныхъ въ вѣдомости какъ въ отверстіяхъ уменьшенныхъ, такъ и въ отверстіяхъ оставленныхъ безъ измѣненія.

Изъ вѣд. 73 видно, что среднія скорости подъ 4-мя мостами съ уменьшенными отверстіями опредѣлились отъ 0,65 до 0,83 $\frac{\text{сж.}}{\text{сек.}}$ въ среднемъ 0,735 $\frac{\text{сж.}}{\text{сек.}}$. Въ то же время подъ мостами второй категоріи (Проточный, Узк. Есаулъ, Крив. Бузь, Болтайка и Гнилуша), отверстія которыхъ оставлены безъ измѣненія, среднія скорости послѣ перестройки опредѣлились отъ 0,66 до 1,01 $\frac{\text{сж.}}{\text{сек.}}$, въ среднемъ 0,81 $\frac{\text{сж.}}{\text{сек.}}$. Такимъ образомъ, назначенное уменьшеніе отверстій 4-хъ мостовъ послужитъ лишь къ уравненію скоростей во всѣхъ перестраиваемыхъ мостахъ, оставляя во всѣхъ случаяхъ скорости значительно ниже допустимыхъ по укрѣпленію, и оставляя въ уменьшенныхъ отверстіяхъ скорости все же въ общемъ ниже скоростей въ отверстіяхъ оставшихся безъ измѣненія.

ВѢДОМОСТЬ 73

отверстій постоянныхъ мостовъ, вмѣсто 11 временныхъ.

№№ по порядку.	НАИМЕНОВАНИЕ ВОДОТОКОВЪ.	Отверстія по дну мосто- выхъ русель:		Предѣльныя среднія скорости при проходѣ с. в. водъ.		Разбивка отверстій на пролеты
		времен- ныхъ мост.	постоян- ныхъ мост.	подъ вре- менными мостами и	подъ по- стоянными мостами и	
1	р. Ахтуба.	200	200	0.67	0.63	4×50
2	ер. Банный	40	30	0.71	0.83	2×15
3	» Безымянный . .	25	25	0.67	0.62	1×25
4	» Проточный . .	30	30	0.84	0.77	2×15
5	» Узк. Есауль . .	25	25	0.84	0.77	1×25
6	р. Крив. Бузь . . .	60	60	0.72	0.66	3×20
7	ер. Болтайка . . .	25	25	0.95	0.87	1×25
8	» Гнилуша. . . .	36	36	1.10	1.01	1×36
9	» Угланъ	30	25	0.67	0.70	2×12
10	» Утюпкинь . . .	50	35	0.61	0.76	2×18
11	Отводъ 3-хъ ериковъ.	100	80	0.60	0.65	4×20
	Итого	621	571	—	—	—

Вмѣстѣ съ тѣмъ вѣд. 73 показываетъ, что послѣ перестройки временныхъ мостовъ на постоянные наибольшая средняя скорость во всей группѣ уменьшится съ 1.10 до 1.01 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, что указываетъ на уменьшеніе подпора послѣ перестройки. Если къ этому присоеди- нить значительное увеличеніе при перестройкѣ размѣровъ пролетовъ и уменьшеніе перебоя струй густо расположенными опорами деревянныхъ мостовъ, то становится яснымъ, что пере- стройка мостовъ благоприятно отразится на условіяхъ судоходства

по протокамъ, которое хотя не велико, но все же при высокихъ водахъ существуетъ (плаваютъ досчаники).

Среди уменьшенныхъ отверстій наименьшая средняя скорость послѣ перестройки опредѣлилась для Отвода, что указываетъ на сравнительно малое уменьшеніе. Но большее уменьшеніе отверстія не назначено въ предвидѣніи устройства Волжской пристани, когда расходъ подъ мостомъ черезъ Отводъ вслѣдствіе прегражденія слива поемныхъ водъ въ р. Болду долженъ возрасти. При этомъ, однако-жъ, при наблюденномъ соотношеніи расходовъ Отвода и сѣверной Болдинской поймы, увеличеніе расхода и скорости въ мостовомъ руслѣ черезъ Отводъ, какъ выяснено въ гл. VIII *), не можетъ быть значительнымъ, и устойчивость моста останется обезпеченной съ большимъ запасомъ.

Необходимо еще замѣтить, что сокращеніе отверстія на Отводѣ должно быть сдѣлано со стороны Краснаго Кута, вслѣдствіе сравнительно болѣе слабой водопропускной работы Краснокутскаго участка русла, какъ это видно изъ результатовъ наблюденій на чер. 92 (Л. XLV). Сокращеніе отверстій прочихъ 3-хъ мостовъ (Банный, Угланъ и Утюпкинь) можетъ быть сдѣлано безразлично съ той, или съ другой стороны.

Въ вѣд. 73 кромѣ 10-ти деревянныхъ подкосныхъ мостовъ включенъ еще мостъ черезъ р. Ахтубу, также подлежащій перестройкѣ на постоянный. Отверстіе моста, какъ уже выяснено **) въ изслѣдованіи его устойчивости, должно быть сохранено 200 саж. Средняя скорость подъ постояннымъ мостомъ при проходѣ с. в. водъ безъ дополнительнаго размыва опредѣляется:

$$u'' = \frac{(100 - 9.5)}{(100 - 4)} \times 0.67 = 0.63 \frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$$

Коэффициентъ расхода при постоянномъ мостѣ въ этомъ случаѣ принять для запаса равнымъ коэффициенту при временномъ мостѣ, такъ какъ этотъ послѣдній имѣетъ пролеты не менѣе 10 саж.

*) Томъ I, стр. 240.

**) Статья настоящей главы: „Обезпеченность устойчивости мостовыхъ сооружений при с. в. водахъ. Мостъ черезъ р. Ахтубу“.

Постоянные рѣчные опоры Ахтубинскаго моста должны быть заложены, исходя изъ отмѣтки дна размытаго русла 30.00, какъ это выяснено выше.

Что касается русловыхъ опоръ прочихъ постоянныхъ мостовъ, подлежащихъ устройству взамѣнъ деревянныхъ, то при существованіи проектнаго укрѣпленія мостовыхъ руселъ можно было бы заложить опоры безъ предвидѣнія размыва; но для запаса слѣдуетъ въ расчетъ устойчивости постоянныхъ русловыхъ опоръ предвидѣть размывъ русла на глубину $1\frac{1}{2}$ —2 саж. Тѣмъ не менѣе *проектное укрѣпленіе мостовыхъ руселъ должно быть постоянно поддерживаемо и въ будущемъ*, такъ какъ оно необходимо не только для устойчивости русловыхъ опоръ, но и для охраненія струенаправляющихъ дамбъ и береговыхъ опоръ.

Береговые опоры, находящіяся подъ защитой струенаправляющихъ дамбъ и укрѣпленнаго русла могутъ быть построены по типу Рычанскихъ устоевъ безъ предвидѣнія размыва, ввиду того, что во всѣхъ случаяхъ скорости теченія въ береговыхъ участкахъ мостовыхъ руселъ наблюдались совершенно малыя, какъ видно изъ кривыхъ скоростей изображенныхъ на чер. 77—93 (Л. XXXI—XLVI).

Умѣстная разбивка перестраиваемыхъ мостовъ на пролеты показана въ вѣд. 73. Размѣры пролетовъ назначены отъ 12 до 50 саж. При распредѣленіи пролетовъ руководствомъ служило то соображеніе, что пролеты должны быть возможно большіе въ интересахъ водопропускной способности отверстій и облегченія судоходства; но въ то же время экономичность проектировки предъявляетъ обратное требованіе: избѣжать крупныхъ пролетовъ, ввиду небольшой стоимости русловыхъ опоръ, не требующихъ глубокаго заложенія.

Въ частности на ер. Гнилушѣ назначенъ сравнительно большой пролетъ, въ 36 саж., вслѣдствіе бывшаго въ руслѣ глубокаго размыва и затруднительности поэтому устроить русловую опору.

На р. Ахтубѣ рѣчные опоры должны быть на кессонныхъ основаніяхъ или опускныхъ колодцахъ; а потому умѣстны болѣе значительные пролеты, назначенные по 50 саж.

Настоящая глава приводитъ къ слѣдующимъ заключеніямъ.

1) При обработкѣ наблюдений водъ, произведенныхъ послѣ сооруженія перехода черезъ водотокъ, имѣетъ важное значеніе знаніе для каждаго наблюденія соответственнаго бытового горизонта вдоль линіи. А потому, является необходимымъ установить до сооруженія перехода связь бытовыхъ горизонтовъ водъ вдоль линіи съ водомерными постами поставленными въ небольшомъ удаленіи отъ линіи, однако же внѣ ея вліянія, и во всякомъ случаѣ въ разстояніи нѣсколькихъ верстъ отъ нея. Предпочтительно имѣть два связующихъ водомерныхъ поста, одинъ выше и другой ниже линіи перехода, внѣ ея вліянія. По показаніямъ этихъ водомерныхъ постовъ въ каждый моментъ будутъ извѣстны горизонты, которые наблюдались бы вдоль линіи перехода въ бытовыхъ условіяхъ.

А такъ какъ бытовой горизонтъ есть единственная независимая переменная, въ функціи отъ которой находятся всѣ гидравлическіе элементы каждаго даннаго перехода черезъ водотокъ, какъ при одиночномъ отверстіи, такъ и при групповыхъ отверстіяхъ, то, при извѣстности бытовыхъ горизонтовъ, сопоставляя каждый изъ наблюденныхъ элементовъ за нѣсколько дней наблюдений съ соответственными бытовыми горизонтами, является возможнымъ установить закономерныя зависимости всѣхъ гидравлическихъ элементовъ даннаго перехода отъ бытовыхъ горизонтовъ, и по этимъ зависимостямъ опредѣлять для любого бытового горизонта и въ томъ числѣ для предѣльнаго наивысшаго горизонта всѣ элементы характеризующіе водопропускную работу отверстій, каковы: тиховодный перепадъ h_t , средняя скорость и въ мостовомъ руслѣ передъ мостомъ и приращеніе ея противъ бытовой w , средняя скорость u' подъ мостомъ, расходъ въ отверстіи S , а также подпоръ k , полный перепадъ H , добавочный средній уклонъ въ предѣлахъ воронки и бугра j и протяженіе воронки и бугра L .

2) При обработкѣ наблюдений водъ послѣ сооруженія перехода необходимо знать бытовые расходы въ предѣлахъ перекрытыхъ отверстіями; а потому бытовые наблюденія водотоковъ надлежитъ вести съ такой разбивкой живыхъ сѣченій на части, чтобы выдѣленіе расхода любой части живаго сѣченія не встрѣчало затрудненій.

3) Въ результатъ изслѣдованія матеріаловъ собранныхъ наблюденіями 1908 г., благодаря изученію зависимостей между гидродинамическими элементами потока при проходѣ черезъ отверстія, опредѣлились для отверстій дельтового участка ожидаемые наибольшіе тиховодные перепады, скорости и расходы; полученные величины представлены въ вѣд. 67 по каждому отверстію отдельно. Ожидаемая на дельтѣ при проходѣ с. в. водъ средняя скорости въ мостовыхъ руслахъ передъ отверстіями находятся въ предѣлахъ отъ 0.38 до 0.78 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$, и средняя скорости подъ мостами, до ихъ переустройства, — отъ 0.42 до 1.02 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$; ожидаемые тиховодные перепады находятся въ предѣлахъ отъ 0.03 до 0.16 саж. Наибольшіе добавочные расходы въ отверстіяхъ дельтового участка по сравненію съ бытовыми расходами составляютъ отъ 10 до 17% для мощныхъ руселъ и отъ 52 до 1337% для руселъ малой мощности. Кроме того выяснено, что подпорный подгемъ водъ возлѣ полотна вдоль всего участка при проходѣ с. в. водъ не превзойдетъ 0.13 саж.

4) Обезпеченіе устойчивости мостовыхъ сооружений на дельтѣ при наибольшей водопропускной работѣ, при проходѣ с. в. водъ, требуетъ только окончанія оставшихся къ 1908 г. недоделокъ по укрѣпленію мостовыхъ руселъ противъ проектныхъ назначеній, и лишь для 2-хъ мостовъ: черезъ р. Ахтубу и ер. Гнилушу необходимы указанныя въ настоящей главѣ дополнительныя укрѣпленія, на р. Ахтубѣ вслѣдствіе преуменьшенности принятаго въ проектномъ расчетѣ расхода рѣки, а на ер. Гнилушѣ вслѣдствіе глубокаго размыва русла происшедшаго по причинѣ оставленія на время прохода высокихъ водъ большей части мостоваго русла безъ укрѣпленія.

5) Кроме того, для гарантіи устойчивости дельтовыхъ сооружений въ будущемъ требуется соблюденіе слѣдующихъ условій:

а) при проходѣ высокихъ водъ, особенно въ періодъ подгема ихъ, во избѣжаніе загроможденія отверстій и непредвидѣннаго возрастанія подпора, мостовыя русла должны быть неотложно очищаемы отъ камыша и хвороста приносимаго водою въ большомъ количествѣ;

б) живыя сѣченія по оси мостовъ, а также выше и ниже ихъ должны быть промѣряемы при проходѣ высокихъ водъ каждаго года, дабы своевременно обнаружить происходящія измѣненія и принять мѣры къ предупрежденію нежелательнаго и неожиданнаго перераспределенія водъ;

в) периодически, хотя бы въ годы высокихъ подѣмовъ водъ, должно быть наблюдениемъ проверяемо распределение водъ на дельтѣ между всѣми руслами, имѣя въ виду, что съ теченіемъ времени возможно перераспределение водъ въ соответствии съ измѣненіемъ режима дельты, которая находится въ періодѣ образованія и продолжаетъ видоизмѣняться подъ дѣйствіемъ рѣчныхъ и морскихъ водъ, наносовъ и вѣтровъ;

г) выветривающійся камень въ укрѣпленіяхъ долженъ быть своевременно замѣненъ надежнымъ камнемъ; вообще, разстроенные участки укрѣпленій должны быть восстанавливаемы, съ тѣмъ чтобы одежда укрѣпленій постоянно фактически соответствовала проектнымъ назначеніямъ какъ по типу, такъ и по площади;

д) въ предвидѣніи размыва неукрѣпленныхъ мостовыхъ руселъ до глубины, когда являются необходимыми каменные отсыпи, должно имѣть запасъ камня возлѣ мостовъ черезъ р.р. Бузанъ и Болду.

6) При перестройкѣ деревянныхъ мостовъ дельтоваго участка на постоянные умѣстно уменьшеніе отверстій 4-хъ мостовъ: черезъ Банный, Угланъ, Утюпкинъ и Отводъ, въ общемъ на 50 саж. Этимъ уменьшеніемъ будетъ достигнуто уравненіе скоростей въ отверстіяхъ при сохраненіи большихъ запасовъ устойчивости мостовъ.

Перестройка мостовъ на постоянные будетъ имѣть послѣдствіемъ уменьшеніе подпора, и благоприятно отразится на условіяхъ судоходства по протокамъ.

7) Законъ пропорціональнаго размыва не всегда оправдывается, и дѣйствительный размывъ переходитъ линію пропорціональнаго размыва; поэтому, безопасность требуетъ, чтобы въ случаѣ размываемыхъ грунтовъ и отсутствія надежнаго укрѣпленія мостоваго русла расчетъ устойчивости опоръ производился въ предположеніи

перемѣненія стрѣжня рѣки по ширинѣ русла. При этомъ во избѣжаніе излишней глубины заложенія опоръ необходимо сообразоваться съ горизонтами залеганія болѣе плотныхъ, трудно размываемыхъ грунтовъ, и съ очертаніемъ русла въ планъ, такъ какъ не всегда и не по всей ширинѣ русла перемѣненіе стрѣжня возможно.

8) Общій характеръ очертанія размытаго дна вдоль русла:
а) возмъ мостовыхъ опоръ — вымоины въ видѣ ямъ съ верховой стороны и бугры съ низовой стороны; причѣмъ высота низовыхъ бугровъ соответствуетъ глубинѣ верховыхъ ямъ; б) между мостовыми опорами размывъ увеличивается къ линіи низовыхъ граней опоръ; ниже этой линіи размывъ уменьшается.

9) Такъ какъ прохожденіе кессонами большой глубины воды сопряжено съ осложненіями въ производствѣ работъ, то въ рѣкахъ съ большою бытовою глубиною и размываемымъ русломъ, слѣдуетъ въ первую очередь опускать опоры въ глубокой части русла, дабы избѣжать прохожденія кессонами дополнительной глубины, образующейся вслѣдствіе размыва.

КОНЕЦЪ II ТОМА.





